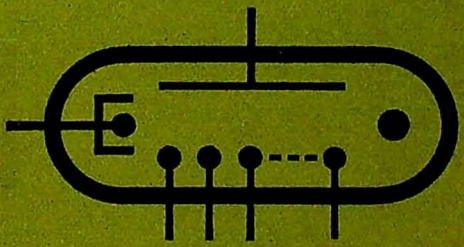
Radio- und Elektronik-
Monographien
für den Praktiker

Konstantin Apel

Elektronische Zählschaltungen

Eine Einführung
in ihre
Wirkungsweise



Radio- und Elektronik-
Monographien
für den Praktiker

Radio- und Elektronik-Monographien für den Praktiker

Herausgegeben

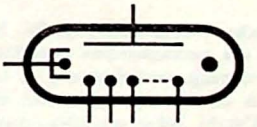
von Ing. Heinz Richter

FRANCKH'SCHE
VERLAGSHANDLUNG
STUTTGART

Dr. Konstantin Apel

Elektronische Zählschaltungen

Eine Einführung
in ihre
Wirkungsweise
und
Technik



4

Umschlag von Edgar Dambacher

---

50 Abbildungen im Text nach Vorlagen
des Verfassers, gezeichnet von Walter Ott

Franckh'sche Verlagshandlung, W. Keller & Co., Stuttgart / 1961 / Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der photomechanischen Wiedergabe und der Übersetzung, vorbehalten / © 1961 Franckh'sche Verlagshandlung, W. Keller & Co., Stuttgart / Printed in Germany / Verlagsnummer 3044/Str
Druck: Johannes Illig, Buch- und Offsetdruckerei, Göppingen

Elektronische Zählschaltungen

Inhalt 5

Zum Geleit 9

Vorwort 10

1. Einleitung 11

2. Einteilung der Zählschaltungen 12

3. Selbstschwingende Zählschaltungen 16

3.1 Grundsätzliches 16

3.2 Astabiler Multivibrator 18

3.3 Frequenzbereich selbstschwingender Stufen 18

3.4 Frequenzgeregelter Sperrschwinger 22

3.5 Monostabiler Multivibrator 24

4. Integrierende Zählschaltungen 25

4.1 Grundsätzliches 25

4.2 Schaltung mit Pentoden 27

4.3 Stabilisierte Diodenschaltung 28

4.4 Schaltung mit Magnetkernen 32

5. Ringzähler-Schaltungen 33

5.1 Grundsätzliches 33

5.2 Ringe aus Glimmröhren und Vierschichtdioden 34

5.3 Ring aus Relaisröhren 37
5.4 Ring aus Trioden 39
5.5 Ringe aus bistabilen Multivibratoren 42
5.6 Ring aus Unijunction-Transistoren 46

6. Binäre Zählschaltungen 49
6.1 Grundsätzliches 49
6.2 Dekade mit Impulsrückführung 55
6.3 Dekade mit Impulstoren 56
6.4 Stufen für höchste Zählgeschwindigkeiten 58
6.5 Vor- und rückwärtszählende Schaltung 62

7. Ternäre Zählschaltungen 67

8. Dekatron-Zählschaltungen 68
8.1 Wirkungsweise des Dekatrons 68
8.2 Treiberstufen mit Trioden und Relaisröhren 73
8.3 Treiberstufen mit Transistoren 75
8.4 Vor- und rückwärtszählende Schaltung 77
8.5 Wirkungsweise und Schaltung des Einfachpuls-Dekatrons . 78

9. EZ10-Zählschaltungen 82
9.1 Wirkungsweise der Röhren EZ10 82
9.2 Treiberstufen mit Röhren 84
9.3 Treiberstufen mit Transistoren 87
9.4 Stufe für Zählfrequenzen bis 1 MHz 89

10. E1T-Zählschaltungen 91
10.1 Wirkungsweise der Röhre E1T 91
10.2 Dekade für Zählfrequenzen bis 30 kHz 95

10.3 Dekade für Zählfrequenzen bis 100 kHz 96
10.4 Dekade für Zählfrequenzen bis 10 kHz 98

11. Trochotron-Zählschaltungen 100
11.1 Wirkungsweise des Trochotrons 100
11.2 Dekade für Zählfrequenzen bis 1 MHz 105
11.3 Dekade mit elektronischer Rückstellung 108

12. Ableseverfahren 110
12.1 Elektrische Ablesung 110
12.2 Optische Anzeige 111
12.3 Speichernde Ablesung 116

13. Impulsformerschaltungen 119
13.1 Grundsätzliches 119
13.2 Diodenbegrenzer 120
13.3 Multivibratoren 122
13.4 Schmitt-Trigger 124
13.5 Sperrschwinger 125
13.6 Impulsdehner 127

14. Amplitudendiskriminatoren 128

15. Koinzidenz- und Torschaltungen 131

16. Elektromechanische Zähl- und Relaisschaltungen 136

17. Vorwahlschaltungen 138

18. Literatur- und Quellenverzeichnis 142

19. Sachregister 145

Zum Geleit

Wie arbeitet ein Trochotron? Was ist ein Digitron? Wo findet man Näheres über elektronische Zähler extrem hoher Auflösung? Diese und ähnliche Fragen legt sich der vielbeschäftigte Elektronik-Fachmann vor, wenn er im Rahmen seiner Berufsarbeit mit elektronischen Zählern für irgendeinen Sonderzweck zu tun hat. Die einschlägige Literatursuche ist mühsam, raubt viel Zeit und führt den Nicht-Spezialisten keineswegs immer zu den wirklich wichtigen Arbeiten. Und solch ein Literaturstudium wird ohne Zweifel täglich von unzähligen Entwicklungsingenieuren geleistet, die sich mit der fortlaufend wichtiger werdenden Technik der elektronischen Zähler abgeben müssen.

Daß das vorliegende Buch eine ganz entscheidende Erleichterung in dieser Hinsicht bringt und allen Fachleuten bald unentbehrlich sein dürfte, ergibt sich nicht nur aus dem Inhalt, sondern auch aus der Persönlichkeit des Verfassers. Durch langjährige Forschungsarbeiten auf impulstechnischem Gebiet besitzt er die besten Voraussetzungen für eine geschlossene Darstellung der mit Impulsen arbeitenden elektronischen Zählschaltungen. In diese Materie konnte er sich — in maßgeblicher Position bei einem bedeutenden elektronischen Unternehmen tätig — seit längerer Zeit so einleben, daß er heute das erworbene Wissen, die Übersicht und seine Erfahrungen anderen Fachkollegen mitzuteilen berufen ist. Daß er das ausgezeichnet verstanden hat und darüber hinaus gerade dem Schaltungstechniker viel Wertvolles zu bieten vermag, zeigt die hier vorliegende Veröffentlichung.

Der Herausgeber

Vorwort

Die schaltende Elektronik ist im Verlaufe ihrer schnellen Entwicklung zum unentbehrlichen Hilfsmittel der verschiedensten Disziplinen wissenschaftlicher Forschung und industrieller Technik geworden. War sie vor einem Jahrzehnt noch vorwiegend ein Teil der Nachrichtentechnik, so ist sie heute universelles Rüstzeug für eine Vielzahl von Anwendungsgebieten. Zu ihren wichtigsten Elementen rechnen die im vorliegenden Buch behandelten Zählschaltungen. Ursprünglich war es die Physik der Atome, die durch ihren Bedarf an schnellen Zählern für Strahlungskorpuskeln die Entwicklung derartiger Schaltungen einleitete. Mit zunehmender Einführung der digitalen Meß- und Steuerverfahren in die industrielle Elektronik haben die Zählkreise aber bald ein außerordentlich weites Anwendungsfeld gefunden. Zwangsläufig ist mit dem Wachsen des Einsatzgebietes auch die Vielzahl der Zählschaltungen immer größer geworden. Es erscheint deshalb angebracht, eine Zusammenfassung der verschiedenen Zählmethoden und ihrer Eigenschaften zu geben. Das dabei angestrebte Ziel ist es, sowohl dem mit der Entwicklung elektronischer Geräte Vertrauten, als auch dem Lernenden geeignete Unterlagen zur Verfügung zu stellen. Im Interesse des Ersteren wurde versucht, die Vielzahl der Schaltungen möglichst vollständig darzustellen und auch auf weniger bekannte, sehr spezielle Kreise einzugehen. Um dem Lernenden die Einführung zu erleichtern, wurde auf die mathematische Behandlung der Zählkreise verzichtet und eine große Anzahl dimensionierter Schaltbeispiele aufgenommen. Zu ihrem Verständnis genügt die elementare Kenntnis der elektronischen Bauteile und Grundschaltungen.

Bad Ragaz *Dr. K. Apel*

1. Einleitung

Zählgeräte und Zählschaltungen finden in Wissenschaft und Technik immer ausgedehntere und daher auch immer verschiedenartigere Anwendungsgebiete. Ihre ursprüngliche Verwendung zur reinen Zählung beliebiger, in elektrische Signale umgesetzter Ereignisse stellt heute nur noch einen kleinen Teil des Aufgabenkreises dar. Die Entwicklung hat zu umfangreichen elektronischen Geräten geführt, in denen Zählkreise zusammen mit anderen Baugruppen komplizierteste Meß- und Steuervorgänge bewältigen. Mit der gleichen Zuverlässigkeit, mit der diese Apparate in der Technik die größten Maschinen steuern, übernehmen sie im Laboratorium die Messung physikalischer Elementarvorgänge.

Bei der Betrachtung der Schaltungen solcher Anlagen lassen sich die eigentlichen Zählkreise von den anderen Organen oft nur schwer trennen, da sie mit diesen über eine Vielzahl von Leitungsverbindungen auf das engste zusammenwirken. Die nähere Untersuchung zeigt trotz der Vielfalt der Anwendungen jedoch bald, daß sich nicht nur im wesentlichen gleiche Zählschaltungen wiederholen, sondern daß sich auch die angrenzenden Schaltkreise weitgehend ähneln. Das sind vor allem Stufen, in denen elektrische Impulse so geformt werden, daß sie von den Zählkreisen verarbeitet werden können. Weiter finden sich Anordnungen zum zeitlich exakten Ein- und Ausschalten des Zählers, Stufen zur Signalerzeugung bei bestimmten Zählerständen, Schaltungen zur Einstellung einer Anfangszahl und dergleichen mehr.

Die Tatsache, daß man auch in kompliziertesten Anwendungsfällen mit einer gewissen Anzahl von Grundschaltungen auskommt, erleichtert die Besprechung der Zählschaltungen erheblich. Dieses Teilgebiet der Elektronik kann so zusammengefaßt

dargestellt werden, ohne es auf einige - zwangsläufig willkürlich - ausgewählte Anwendungen zu beschränken. Um die Übersichtlichkeit zu wahren, erscheint es sinnvoll, die eigentlichen Zählkreise zuerst losgelöst von den erwähnten zusätzlichen Stufen zu behandeln. Im Anschluß an diese Besprechung, die den Hauptteil des vorliegenden Buches bildet, soll dann auf die ergänzenden Schaltungen eingegangen werden.

2. Einteilung der Zählschaltungen

Als Zählschaltung soll jede elektronische Anordnung angesprochen werden, die durch eine Anzahl nacheinander eintreffender gleichartiger Signale in eine Anzahl verschiedener Zustände versetzt werden kann. An Hand der Beschaffenheit dieser diskreten Zustände und der elektronischen Mittel, mit denen sie erzeugt werden, läßt sich eine grobe Einteilung der Zählschaltungen vornehmen.

Eine erste Unterscheidung ergibt sich bei der Betrachtung der Stabilität der Zustände. Sind sie instabil, so hat die Schaltung die Eigenschaft, auch ohne Zuführung äußerer Signale periodisch im Rhythmus einer Eigenfrequenz alle Zustände zu durchlaufen. Eine solche Anordnung kann nur zur Zählung periodisch mit konstanter Frequenz eintreffender Signale verwendet werden. Signalfrequenz und Eigenfrequenz müssen dabei in annähernd ganzzahligem Verhältnis stehen. Typische Vertreter dieser Zählergruppe sind die selbstschwingenden Impulsteiler. Sie dividieren die Folgefrequenz einer Impulsreihe durch einen konstanten Faktor und erzeugen so eine zweite Impulsfolge kleinerer Frequenz. Oder anders formuliert: sie zählen periodisch die eintreffenden Signale ab und liefern immer dann ein Signal, wenn eine bestimmte Zahl erreicht ist.

Neben diesen vollständig astabilen Schaltungen werden häufig Anordnungen benutzt, die zwar für begrenzte Zeitabschnitte stabil sind, dann aber von selbst langsam zu anderen Zuständen übergehen. Als einfaches Beispiel für derartige Zählverfahren diene die Aufladung einer Kapazität. Ein Kondensator wird über eine Diode von den Steuerimpulsen schrittweise aufgeladen. Vom Sperrwiderstand der Diode und vom Isolationswiderstand des Kondensators hängt es ab, wie lange die Ladung erhalten bleibt. Ihre Lebensdauer ist aber auf jeden Fall endlich, so daß mit dieser Zählschaltung nur Impulse verarbeitet werden können, deren Abstand eine gewisse Grenze nicht übersteigt. Im Vergleich zu den völlig instabilen Kreisen sind die Anwendungsmöglichkeiten aber schon wesentlich zahlreicher. Dort konnten nur Impulse ganz bestimmter Folgefrequenz benutzt werden, während jetzt nur noch eine gewisse Mindestfrequenz verlangt werden muß. Es ist daher berechtigt, die Kreise der zweiten Gruppe als quasistabil zu bezeichnen. Ihre Hauptvertreter sind Schaltungen, die ähnlich wie die oben erwähnte integrierende Effekte ausnützen. Häufig wird deshalb auch von „integrierenden Zählschaltungen" gesprochen.

Der überwiegende Teil der heute verwendeten Kreise verfügt über absolut stabile Zählzustände. Abgesehen von einer bauteilbedingten Begrenzung nach oben entfällt so jede Frequenzbeschränkung. Zählschaltungen dieser Beschaffenheit verhalten sich streng aperiodisch. Für einen bistabilen Multivibrator z. B. ist es völlig gleichgültig, wann ein Impuls eintrifft und ihn zum Umkippen bringt. Er kann für unbegrenzte Zeit in jedem seiner beiden Zustände verharren. Ihrer universellen Verwendbarkeit entsprechend ist die Gruppe der aperiodischen Zählkreise sehr umfangreich. Es ist daher angebracht, hier die Klassifikation weiter zu verfeinern. Ein dazu geeignetes Kriterium ergibt sich bei der Betrachtung der Schaltungsprinzipien. Und zwar soll gefragt werden, auf welche Weise und mit welchen elektronischen Mitteln die verschiedenen diskreten Zählzustände erzeugt werden.

Am übersichtlichsten kann eine Zählschaltung, die über n Zustände verfügen soll, durch die Aneinanderreihung von n gleich-

artigen Stufen realisiert werden. Jede dieser Stufen soll einen Ruhezustand und einen angeregten Zustand einnehmen können. Die Kopplungen zwischen den Stufen sorgen dafür, daß sich erstens immer nur eine Stufe im angeregten Zustand befinden kann und daß zweitens jeder Steuerimpuls die Anregung zur nächsten Stufe überträgt. Wird eine solche Kette gleichartiger Stufen zu einem „Ring" geschlossen, kann der Anregungszustand zyklisch umlaufen und zwangsläufig von der Endposition wieder zur Ausgangslage zurückkehren.

Für Anordnungen derartiger Struktur ist der Name „Ringzähler" üblich geworden. Diese Schaltungen besitzen den Vorteil, daß mit ihnen mühelos durch Wahl der entsprechenden Stufenzahl jede gewünschte Anzahl von Zuständen erzeugt werden kann. Allerdings ist der dazu erforderliche Bedarf an Schaltmitteln mitunter beträchtlich. Eine wesentliche Reduktion des Aufwandes ergibt sich, wenn darauf verzichtet wird, jedem Zählzustand eine gesonderte Stufe zuzuordnen. Um z. B. bis 1000 zählen zu können, ist es nicht erforderlich, einen tausendstufigen Ringzähler zu bauen. Es ist weitaus einfacher, drei zehnstufige Ringe hintereinanderzuschalten. Der erste gibt nach jedem Umlauf zum zweiten einen Steuerimpuls und ebenso der zweite zum dritten. Die gewünschten 1000 Zählzustände ergeben sich so als Kombinationen der Stellungen der drei Ringe zueinander. Von diesem Verfahren kann prinzipiell bei allen Zählschaltungen Gebrauch gemacht werden. Die Reihenschaltung von Zählkreisen ist durchaus nicht auf die Ringzähler beschränkt, sondern stellt in allen Fällen die einfachste Maßnahme zur Vergrößerung der Zählkapazität dar.

Bei der Gruppe der sogenannten „binären Zähler" wird die Reihenschaltung benutzt, um bereits innerhalb eines einzelnen Zählkreises den Aufwand herabzusetzen. Ein solcher Kreis besteht aus einigen hintereinandergeschalteten bistabilen Multivibratoren. Der erste wird von jedem Steuerimpuls zum Umschlagen gebracht. Er wirkt auf den zweiten so ein, daß dieser immer nur dann kippt, wenn der erste in eine der beiden möglichen Richtungen umschlägt. In der gleichen Weise geschieht die

Kopplung zwischen den nachfolgenden Stufen. Werden n Multivibratoren verwendet, so beträgt die Anzahl der möglichen Stellungskombinationen 2^n. Um z. B. bis acht zählen zu können, werden drei Stufen gebraucht. Bei einem Ringzähler wären dagegen acht Stufen erforderlich, so daß der Vorteil des kleineren Schaltaufwandes offensichtlich ist. Allerdings bereitet es gewisse Schwierigkeiten, mit binären Stufen Zählkapazitäten zu realisieren, die nicht als Potenzen der Basis 2 darstellbar sind.

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, daß parallel zu den aus binären Stufen zusammengesetzten Zählkreisen auch der Aufbau aus ternären Elementen möglich ist. Es lassen sich so alle Potenzen zur Basis 3 erzeugen. Schaltungen dieser Art haben bisher jedoch wenig Bedeutung erlangt und sind nur selten zu finden.

Große Bedeutung kommt in neuerer Zeit den mit speziellen Zählröhren ausgerüsteten Kreisen zu. Die diskreten Zählzustände werden in solchen Stufen nicht durch schalttechnische Maßnahmen erzeugt, sondern sie sind Eigenschaft einer Spezialröhre. Bisher sind Röhren bekannt geworden, in denen entweder ein Elektronenstrahl oder eine Gasentladung eine Anzahl stabiler Lagen einnehmen kann. Durch die der Röhre zugeführten Steuerimpulse werden Strahl oder Entladung jeweils von einer diskreten Lage zur nächsten verschoben. Auf diese Weise kann man daher außerordentlich einfache Zählschaltungen aufbauen. Allerdings läuft parallel zur Vereinfachung eine gewisse Einengung der Anwendungsmöglichkeiten. Zählröhren werden fast ausschließlich für dekadische Systeme hergestellt, verfügen also über zehn diskrete Zustände. Es ist daher schwierig, mit diesen Röhren Zählstufen aufzubauen, die eine von 10 verschiedene Kapazität aufweisen. Schaltungsvarianten dieser Art sind bekannt, sie erfordern jedoch in der Regel so viele zusätzliche Mittel, daß der Vorteil des geringeren Aufwandes wieder verlorengeht. Da in der überwiegenden Menge der Anwendungen jedoch stets dekadische Stufen gebraucht werden, ist dieser Nachteil nicht schwerwiegend.

3. Selbstschwingende Zählschaltungen

3.1 Grundsätzliches

Jede schwingfähige Schaltung kann unter der Voraussetzung, daß sie synchronisierbar ist, als zählende Stufe verwendet werden; jedoch nur mit der Einschränkung, daß die zu verarbeitenden Impulse in periodischer Folge eintreffen und daß ihre Frequenz ein annähernd ganzzahliges Vielfaches der Eigenfrequenz der Schaltung beträgt. Genauer gesagt: die Impulsfrequenz muß etwas größer als das Vielfache der Eigenfrequenz sein. Die Verwendungsmöglichkeit solcher Stufen ist demgemäß beschränkt. Häufig werden sie deshalb überhaupt nicht zu den zählenden Kreisen gerechnet, sondern als Teilerschaltungen angesprochen, da sie ja praktisch nur eine eingespeiste Frequenz durch eine ganze Zahl dividieren. Ursprünglich wurden Schaltungen dieser Art benutzt, um reine Sinusschwingungen in andere Frequenzen zu transformieren. In abgewandelter Form sind sie dann von der Impulstechnik übernommen worden. Da sie dort vielfache Anwendung finden, scheint es gerechtfertigt, die zum Impulsbetrieb geeigneten Teiler als Grenzfall mit zu den Zählern zu rechnen.

Die prinzipielle Funktion der Teiler wird an einem Beispiel deutlich. Ein einfacher, aus Ladewiderstand, Kondensator und Gastriode bestehender Kippkreis möge mit einer Eigenfrequenz von 100 Hz schwingen. Dem Gitter der Triode werden nun positive Impulse mit 330 Hz Folgefrequenz zugeführt. Es sei angenommen, daß einer dieser Impulse zeitlich mit der Kondensatorentladung durch die Röhre zusammengetroffen ist. Nach der Entladung steigt die Spannung am Kondensator in Form einer e-Funktion wieder an. Während dieser Zeit treffen am Triodengitter Impulse ein. Die ersten beiden davon werden die Röhre

nicht zünden können, da die Anodenspannung — d. h. die Kondensatorspannung — noch zu niedrig ist. Beim Eintreffen des dritten Impulses ist die Spannung dagegen schon fast bis zu dem Wert gewachsen, bei dem die Röhre ohnehin zünden würde. Dieser Impuls kann daher die Zündung vorzeitig auslösen, und der Kondensator entlädt sich über die Röhre. Durch die periodische Wiederholung dieses Ablaufes wird der Kippkreis gezwungen, seine Eigenfrequenz zu verlassen und mit 110 Hz zu schwingen. Das heißt, die Eigenfrequenz von 330 Hz wird exakt durch 3 geteilt.

Wegen der Trägheit der Gasentladungsröhren wird von der beschriebenen einfachen Schaltung nur selten Gebrauch gemacht. In der Regel kommen Multivibratoren, Sperrschwinger oder Transitronstufen zur Anwendung (1, 2, 3).

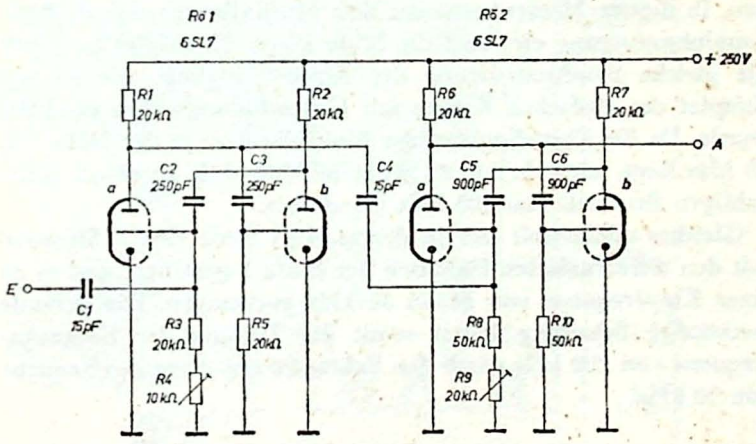


Abb. 3.1

3.2 Astabiler Multivibrator

Das Beispiel eines mit astabilen Multivibratoren arbeitenden Teilers ist in Abb. 3.1 dargestellt (4). Röhre 1 schwingt etwas unterhalb 50 kHz, Röhre 2 wenig unterhalb 10 kHz. Zur genauen Regelung der Frequenzen sind Teile der Gitterableitwiderstände (R4, R9) einstellbar ausgebildet. Die Einspeisung der positiven Steuerimpulse geschieht am Gitter des Systems a der Röhre 1. Die Folgefrequenz der Impulse beträgt 200 kHz.

Es sei angenommen, daß das System a im Laufe des Kippvorganges gerade gesperrt worden ist. Das heißt, der Kondensator C2 ist — vom Gitter aus gesehen — weit negativ aufgeladen. Während der nun folgenden Entladungsperiode steigt die Gitterspannung in positiver Richtung an. Diesem Anstieg überlagern sich die über E eingespeisten Steuerimpulse. Ist der Spannungsanstieg weit genug gediehen, so wird einer der Impulse in der Lage sein, das bis dahin immer noch gesperrte System a zu öffnen. In diesem Moment setzt der dem Multivibrator eigene Rückkopplungsvorgang ein, und die Stufe kippt. Es erfolgt so genau die gleiche Synchronisierung der Kippschwingung, wie sie am Beispiel des einfachen Kreises mit Gasentladungsröhre erläutert wurde. Da die Eigenfrequenz des Multivibrators in der Nähe von 50 kHz liegt, wird sie nun zu genau 50 kHz, d. h. zu einem ganzzahligen Bruchteil von 200 kHz verschoben.

Gleiches wiederholt sich in der zweiten Stufe (Rö2). Sie wird mit den differenzierten Impulsen der Stufe 1 gesteuert und so zu einer Kippfrequenz von genau 10 kHz gezwungen. Die gesamte zweistufige Schaltung leistet somit die Teilung der Eingangsfrequenz von 200 kHz durch den Faktor 20 zur Ausgangsfrequenz von 10 kHz.

3.3 Frequenzbereich selbstschwingender Stufen

Bisher wurde lediglich festgestellt, daß die Eigenfrequenz einer selbstschwingenden Teilerstufe etwas unterhalb eines ganzzah-

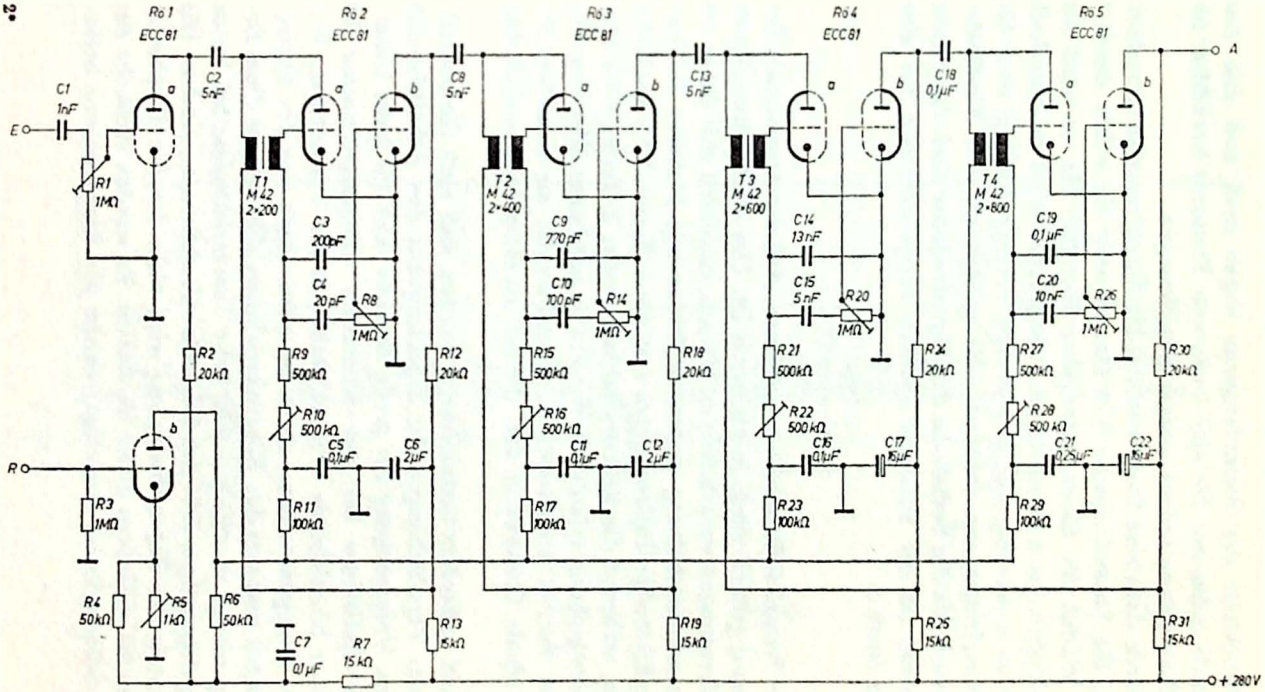

Röl
ECC81
Rö2
ECC81
Rö3
ECC81
Rö4
ECC81
Rö5
ECC81
E
R
A
+280V
C1 1nF
R1 1MΩ
C2 5nF
T1 M42 2×200
C3 200pF
C4 20pF
R8 1MΩ
R2 20kΩ
R9 500kΩ
R10 500kΩ
C5 0,1μF
C6 2μF
R11 100kΩ
R3 1MΩ
R4 50kΩ
R5 1kΩ
R6 50kΩ
C7 0,1μF
R7 15kΩ
C8 5nF
T2 M42 2×400
C9 270pF
C10 100pF
R14 1MΩ
R12 20kΩ
R15 500kΩ
R16 500kΩ
C11 0,1μF
C12 2μF
R17 100kΩ
R13 15kΩ
C13 5nF
T3 M42 2×600
C14 13nF
C15 5nF
R20 1MΩ
R19 20kΩ
R21 500kΩ
R22 500kΩ
C16 0,1μF
C17 16μF
R23 100kΩ
R19 15kΩ
C18 0,1μF
T4 M42 2×800
C19 0,1μF
C20 10nF
R26 1MΩ
R24 20kΩ
R27 500kΩ
R28 500kΩ
C21 0,25μF
C22 16μF
R29 100kΩ
R25 15kΩ
R30 20kΩ
R31 15kΩ

Abb. 3.2

ligen Bruchteils der Steuerfrequenz liegen muß und daß eine Teilerstufe daher nur für eine bestimmte Frequenz brauchbar ist. Diese Feststellung bedarf einiger Ergänzungen.

Es werde dazu eine Stufe von 100 Hz Eigenfrequenz betrachtet. Beträgt die Steuerfrequenz 550 Hz, so wird sie sicher durch 5 teilen. Wächst die Eingangsfrequenz über 600 Hz, so wird das Teilverhältnis zu 6 umspringen. Umgekehrt wird es unterhalb 500 Hz zu 4 werden. Die gewünschte Teilung durch 5 wird für alle Steuerfrequenzen erfolgen, die größer als das Fünffache, aber kleiner als das Sechsfache der Eigenfrequenz sind. Allgemein ausgedrückt ist der zulässige relative Frequenzbereich für eine Teilung durch n

$$f = \frac{100}{n} (\%).$$

Diese Formel läßt unschwer erkennen, daß der prozentuale Bereich umso größer wird, je kleiner n ist. Um stark schwankende Impulsfrequenzen verarbeiten zu können, empfiehlt sich daher die Hintereinanderschaltung mehrerer Stufen mit kleinem Teilverhältnis. Einstufige Teilung durch 4 würde z. B. nur 25% Variation zulassen, während die Reihenschaltung zweier 2-Teiler 50% Frequenzverschiebung erlaubt. In der Praxis wird man allerdings die nach der Formel berechneten Frequenzbereiche nie erreichen. Sie stellen ideale Grenzwerte dar, die nur zu etwa 75% realisierbar sind.

Es muß außerdem berücksichtigt werden, daß auch die bauteilbedingten Verschiebungen der Eigenfrequenz den Arbeitsbereich einengen. Voraussetzung für große Bereiche oder für hohe Untersetzungsverhältnisse bei gut konstanter Eingangsfrequenz ist daher eine hinreichende Frequenzstabilität der Teilerstufen. Gerade bei Kippgeneratoren, deren Frequenz stark von den Speisespannungen und von den Röhrenkennlinien abhängt, ist diese Bedingung schwer zu erfüllen. Für hohe Tastverhältnisse bei festen Eingangsfrequenzen läßt sich folgendes Verfahren anwenden: Die Bestimmung der Eigenschwingung wird nicht den für Kippkreise typischen RC-Gliedern allein überlassen. Es werden vielmehr zusätzlich Schwingkreise eingefügt, welche die Kippfrequenz beein-

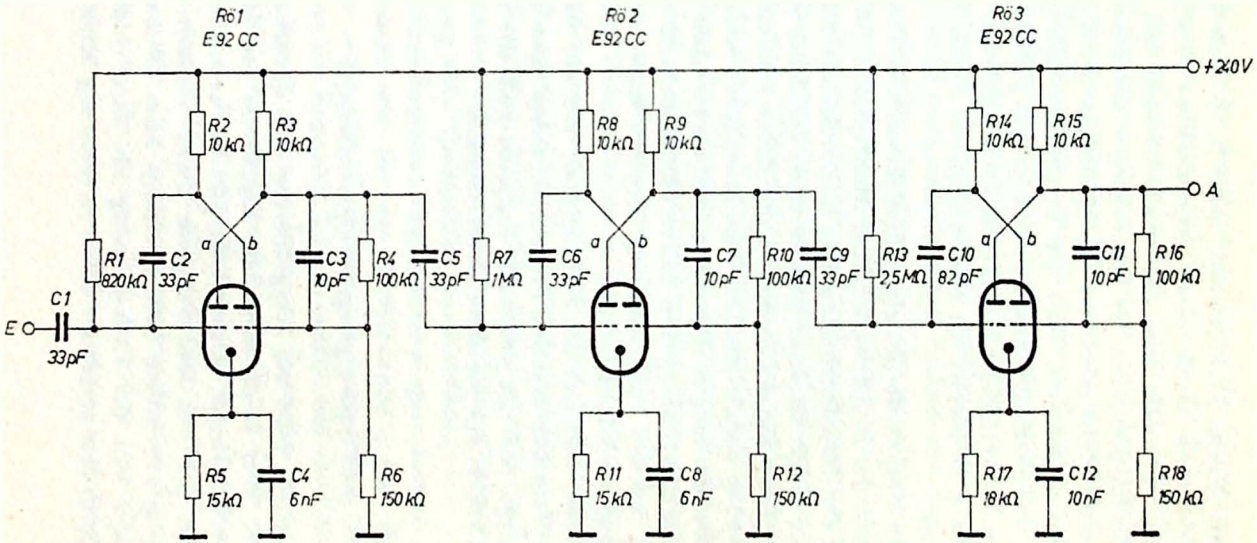

Rö1
E92CC
Rö2
E92CC
Rö3
E92CC
+240V
A
E
C1
33pF
R1
820kΩ
C2
33pF
R2
10kΩ
R3
10kΩ
C3
10pF
R4
100kΩ
C5
33pF
R7
1MΩ
C6
33pF
R8
10kΩ
R9
10kΩ
C7
10pF
R10
100kΩ
C9
33pF
R13
2,5MΩ
C10
82pF
R14
10kΩ
R15
10kΩ
C11
10pF
R16
100kΩ
a
b
R5
15kΩ
C4
6nF
R6
150kΩ
R11
15kΩ
C8
6nF
R12
150kΩ
R17
18kΩ
C12
10nF
R18
150kΩ

Abb. 3.3

flussen. Bei einem Multivibrator wird z. B. mit Erfolg ein Anodenwiderstand durch einen Resonanzkreis ersetzt. Dessen Schwingung verursacht eine Autosynchronisation und beeinflußt dadurch die Kippfrequenz. Da Schwingkreise mit hoher zeitlicher Konstanz ohne Mühe gebaut werden können, ist die Kippfrequenz so recht gut stabilisiert. Sind die Frequenzverschiebungen von Kippkreis und Eingangssignal bekannt, so läßt sich das maximal erreichbare Teilverhältnis n ermitteln. Ist die gesamte Frequenzunsicherheit z. B. kleiner als 4%, so liegt der ideale Höchstwert für n bei 25.

Auch die Amplitude übt einen Einfluß auf das Teilverhältnis aus. So kann der in 3.2 beschriebene Multivibrator Röl bei Vergrößerung der Impulsspannung zum Teilverhältnis 3 übergehen. Durch seine Größe ist dann nämlich schon der dritte Impuls imstande, die Sperrung des Systems a der Röhre 1 aufzuheben und so die Kippung einzuleiten. Der Impulsamplitude muß daher bei allen Teilerschaltungen besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Vor allem bei großen Teilverhältnissen muß sie optimal eingestellt werden und darf im Betrieb keine wesentlichen Schwankungen erfahren.

Andererseits läßt sich die Abhängigkeit von der Impulsspannung zur Vergrößerung des Frequenzbereiches ausnützen. Wird dafür gesorgt, daß mit steigender Frequenz auch die Amplitude wächst, so erhöht sich die obere Grenzfrequenz.

3.4 Frequenzgeregelter Sperrschwinger

Üblicherweise wird zur Vergrößerung des Frequenzbereiches ein anderer Weg beschritten. Alle Kippkreise wie Multivibratoren, Sperrschwinger, Gasentladungskreise usw. besitzen die Eigenschaft, daß sich ihre Frequenz durch Veränderung einer Vorspannung verschieben läßt. So hängt beim Glimmkippkreis die Frequenz von der Ladespannung ab. Beim Multivibrator kann sie durch eine zusätzliche Gittervorspannung beeinflußt wer-

den. Es liegt daher der Gedanke nahe, die Eigenfrequenz einer Teilerstufe so zu regeln, daß sie sich in gleicher Weise wie die Frequenz der steuernden Impulse verändert. Dadurch wird erreicht, daß das Untersetzungsverhältnis auch bei größeren Abweichungen nicht zu anderen Werten umspringen kann. Die notwendige Regelspannung muß zu diesem Zweck aus einem frequenzabhängigen Diskriminator gewonnen werden, der von den Eingangsimpulsen des Teilers gespeist wird.

Der Aufwand an Schaltmitteln erhöht sich so natürlich beträchtlich. Meist wird das Verfahren deshalb nur dann angewendet, wenn ohnedies eine frequenzabhängige Regelspannung zur Verfügung steht. In anderen Fällen lohnt es nicht recht, da die erreichbare Verbesserung bei mehrstufigen Anordnungen nur etwa einen Faktor 2 ausmacht und mit unwesentlich größerem Aufwand eine aperiodische Zählschaltung aufgebaut werden kann.

Die in Abb. 3.2 gezeigte Schaltung verfügt über Einrichtungen zur Regelung der Eigenfrequenz. Ehe speziell auf diese eingegangen wird, soll zuerst die übrige Schaltung erläutert werden. Es handelt sich hier um einen vierstufigen mit Sperrschwingern arbeitenden Teiler. Die an E eingespeisten Impulse haben eine Soll-Folgefrequenz von 31 250 Hz. Jede Stufe teilt durch 5, so daß am Ausgang A Impulse von 50 Hz entstehen. Die einzelnen Teilerstufen (Rö2a, Rö3a, Rö4a, Rö5a) sind durch Trennstufen gegeneinander und gegen Ausgang und Eingang entkoppelt. Die Verstärkung aller Trennstufen ist einstellbar.

Der Teilmechanismus des Sperrschwingers kommt auf gleiche Art zustande wie der des Multivibrators. Am Beispiel der Röhre 2a werde die Funktion kurz beschrieben. Im Anfangszustand sei die Kapazität C3 so negativ, daß die Röhre gesperrt ist. Über die an positiver Spannung liegenden Widerstände R9, R10 und R11 lädt sich C3 auf, bis ein Strom durch die Röhre zu fließen beginnt. In diesem Moment erfolgt über den Transformator T1 ein kräftiger Rückkopplungsstoß, der C3 wieder weit negativ auflädt. Die Frequenz der entstehenden Kippschwingung kann mit dem Widerstand R10 verändert werden. Wie beim Multivibrator werden nun — und zwar an der Anode — positive

Synchronimpulse zugeführt. Sie verursachen einen vorzeitigen Einsatz der Kippspannung und verschieben so die Frequenz zu genau einem Fünftel der synchronisierenden Frequenz.

Die Regelung der Eigenfrequenz der vier Sperrschwinger geschieht durch Beeinflussung der Ladespannung der Kippkondensatoren. Der Widerstand R11 und die entsprechenden Widerstände der anderen Stufen liegen nicht an einer festen positiven Spannung, sondern an der Anode der Röhre 1b. Mit dem Widerstand R5 wird die Anodenspannung so eingestellt, daß die Teiler bei der Sollfrequenz von 31 250 Hz optimal arbeiten. Wird jetzt an den Anschluß R eine positive Regelspannung gelegt, so verringert sich die Ladespannung und damit auch die Eigenfrequenz jedes Teilers. Umgekehrt führt eine negative Spannung an R zu einer Erhöhung der Eigenfrequenz. Mit dieser Anordnung kann so durch eine geeignete Regelspannung der oben beschriebene Effekt der Bereichserweiterung erzeugt werden. Maximal läßt sich ein relativer Frequenzbereich von etwa 30% erzielen.

3.5 Monostabiler Multivibrator

Zu den selbstschwingenden Stufen zählen auch die monostabilen Multivibratoren, obwohl sie nicht periodisch schwingen. Da sie aber bei jedem Anstoß einen selbständigen einmaligen Kippvorgang genau definierter und vom Anstoß unabhängiger Dauer ausführen, erfüllen sie letzten Endes auch das Kriterium der Eigenfrequenz. Ihre Verwendung zur Impulsteilung entspringt einer einfachen Überlegung: Ein monostabiler Multivibrator kann erst dann erneut angestoßen werden, wenn er in den Ruhezustand zurückgekippt ist. Soll durch n geteilt werden, muß die Impulsdauer des Multivibrators so bemessen sein, daß er sich nach n—1 Impulsen wieder im Anfangszustand befindet. Erst der n-te Impuls kann dann eine neue Schwingung auslösen.

Voraussetzung für die einwandfreie Funktion dieses Mechanismus ist die richtige Einstellung der Amplitude der steuernden Impulse. Ein Monovibrator befindet sich nämlich nicht dann wie-

der im Ruhezustand, wenn die während der Dauer des Einzelimpulses leitende Röhre wieder gesperrt ist. Der Ausgangszustand ist vielmehr erst dann erreicht, wenn die Gitterspannung dieser Röhre wieder ihren Ruhewert angenommen hat. Im Moment der Sperrung wird das Gitter weit negativ gesteuert und steigt mit der Zeitkonstante der Koppelglieder langsam wieder zum Ruhepotential an. Auf diese Weise entsteht eine sogenannte Erholzeit, die nach dem Rückkippen verstreichen muß, bis der Ausgangszustand erreicht ist. Es hängt nun von der Größe der Steuerimpulse ab, an welcher Stelle der Erholzeit der neue Anstoß erfolgt. Je größer die Impulse sind, umso größer darf die negative Spannung am Gitter der gesperrten Röhre im Moment der Auslösung sein. Das heißt, mit wachsender Amplitude tritt eine scheinbare Verkürzung der Erholzeit auf. Man muß daher Schwingungsdauer des Multivibrators und Amplitude der Steuerimpulse gut aufeinander abstimmen.

Das Beispiel eines mit monostabilen Multivibratoren ausgerüsteten Teilers zeigt Abb. 3.3 (5). Die drei Stufen der Schaltung teilen durch 5, 2 und 5. Gespeist wird die Anordnung mit Impulsen negativer Polarität von 500 kHz Folgefrequenz. Am Ausgang stehen also 10 kHz zur Verfügung. Der Aufbau der einzelnen Stufen ist denkbar einfach und bietet keinerlei Besonderheiten. Im Ruhezustand leiten die Röhrensysteme a, während die Systeme b gesperrt sind. Die Kopplung zwischen den Röhren erfolgt über Differenzierkondensatoren (C5, C9).

4. Integrierende Zählschaltungen

4.1 Grundsätzliches

Für die selbstschwingenden Kreise des Abschnittes 3 ist die periodische Aufladung oder Entladung einer Kapazität charak-

teristisch. Sowie der Ladevorgang bis zu einem bestimmten Potential gediehen ist, setzt zwangsläufig eine Rückkopplung ein und versetzt das System wieder in den Anfangszustand. An diesem einfachen Schaltprinzip soll nun eine einschneidende Änderung vorgenommen werden. Und zwar soll die Ladung des Kondensators nicht mehr durch eine feste Speisespannung erfolgen, sondern die Steuerimpulse selbst sollen Aufladung oder Entladung besorgen. Das heißt, mit Hilfe der Kapazität soll über die Eingangsimpulse integriert werden.

Erster Erfolg dieser Maßnahme ist die Beseitigung der Schwingfähigkeit. Die so abgewandelten Stufen können nicht mehr selbständig kippen, sondern sind auf Steuerimpulse angewiesen. Zweitens wird eine weitgehende Unabhängigkeit von der Impulsfolgefrequenz erreicht. Ist eine Schaltung so dimensioniert, daß die Ladestöße von n Impulsen gebraucht werden, um die Kondensatorspannung bis zum Einsatz der Rückkopplung zu verschieben, so ist es gleichgültig, wann und in welcher Folge die n Impulse eintreffen. Es brauchen nur noch zwei Bedingungen an

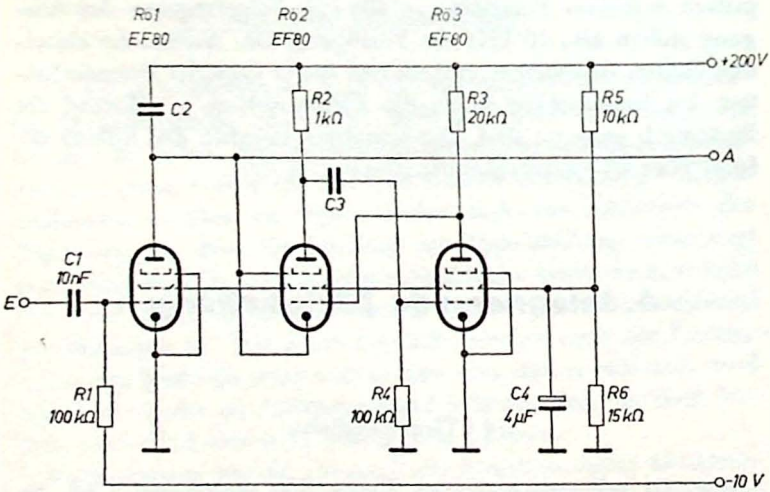


Abb. 4.1

die Steuerimpulse gestellt zu werden. Sie müssen einmal unbedingt gleiche Form haben, um gleiche Ladestöße zu erzeugen. Außerdem darf der Abstand zweier Impulse nicht so groß sein, daß sich die Spannung an der Kapazität während der Pause merklich verändern kann. Verantwortlich für eventuelle Veränderungen sind die unvermeidbaren Isolationswiderstände innerhalb der Schaltung.

Die erste Bedingung ist ohne Mühe zu erfüllen, während die zweite lediglich zur Einhaltung einer unteren Grenzfrequenz verpflichtet. Wie an einem Beispiel gezeigt werden wird, kann diese Einschränkung durch Anwendung zusätzlicher Schaltmaßnahmen sogar völlig beseitigt werden.

4.2 Schaltung mit Pentoden

Am einfachsten wird mit der schrittweisen Entladung einer Kapazität über eine Pentode gearbeitet (2). Die Abb. 4.1 gibt eine entsprechende Schaltanordnung wieder. Im Anodenkreis der Röhre 1 liegt die Speicherkapazität C2. Röhre 1 ist im Ruhezustand durch eine hohe negative Gittervorspannung gesperrt. Jeder über E zugeführte Steuerimpuls öffnet sie und verursacht einen kurzen Anodenstromstoß. Als Stromquelle wirkt der anfangs positiv aufgeladene Kondensator C2. Jeder Impuls senkt daher die Spannung an C2 um einen Schritt in negativer Richtung ab. Durch die weitgehende Unabhängigkeit des Anodenstroms der Pentode von der Anodenspannung ist die gleichbleibende Größe der einzelnen Schritte sichergestellt. Voraussetzung ist natürlich, daß die positiven Steuerimpulse so groß sind, daß Röhre 1 immer bis zur Gitterspannung Null durchgesteuert wird und daß die Impulse exakt gleiche Dauer haben.

Röhre 2 ist im Ausgangszustand gesperrt, da ihre Kathode an der anfangs hohen positiven Kondensatorspannung liegt, während ihr Steuergitter an die Anode der stromführenden Röhre 3 angeschlossen ist. Nach einer Anzahl von Impulsen, die von deren

Dauer und von der Größe des Kondensators C2 abhängt, ist die Spannung an C2 so niedrig geworden, daß Röhre 2 geöffnet wird. Sowie das geschieht, liefert Röhre 2 über C3 ein negatives Signal zum Gitter der Röhre 3. Diese wiederum steuert das Gitter der Röhre 2 in positiver Richtung. Das heißt, die beiden Röhren 2 und 3 bilden einen monostabilen Multivibrator, der jetzt umschlägt. Die nun leitende Röhre 2 entnimmt ihren Strom der Kapazität C2. Diese wird dadurch wieder zu positiver Spannung aufgeladen. Nach kurzer, sowohl von C3 als auch von C2 bestimmter Zeit kippt der Multivibrator wieder zurück. Damit hat die gesamte Schaltung ihren Ausgangszustand erreicht, C2 ist wieder positiv aufgeladen, Rö2 ist gesperrt und Rö3 führt wieder Strom. Die schrittweise Entladung von C2 kann erneut beginnen.

Verantwortlich für die Anzahl der Zählschritte sind die Größe von C2 und die Länge der Steuerimpulse. Die untere Grenzfrequenz hängt von der Beständigkeit der Ladung des Speicherkondensators ab, während die maximale Auflösung durch die Impulsdauer des Multivibrators gegeben ist. Der Abstand zweier Steuerimpulse darf nicht kleiner sein als die Länge des Kippimpulses. Als Ausgangssignal entsteht an A eine negativ gerichtete Sägezahnspannung mit treppenförmigem Verlauf.

Eine Anzeige des jeweiligen Zählerstandes kann durch Anschluß eines Voltmeters an A erfolgen. Um eine Verschlechterung der unteren Grenzfrequenz zu vermeiden, wird dazu am besten ein sehr hochohmiges Röhrenvoltmeter verwendet.

4.3 Stabilisierte Diodenschaltung

Die Pentodenschaltung weist den Nachteil einer unteren Frequenzgrenze auf. Er läßt sich beseitigen, wenn es gelingt, die Spannung an der Speicherkapazität auf jedem der möglichen Werte unabhängig von Isolationswiderständen für unbegrenzte Zeit zu stabilisieren. Die Kondensatorspannung darf durch zusätzliche Schaltmaßnahmen überhaupt nur n diskrete Werte anneh-

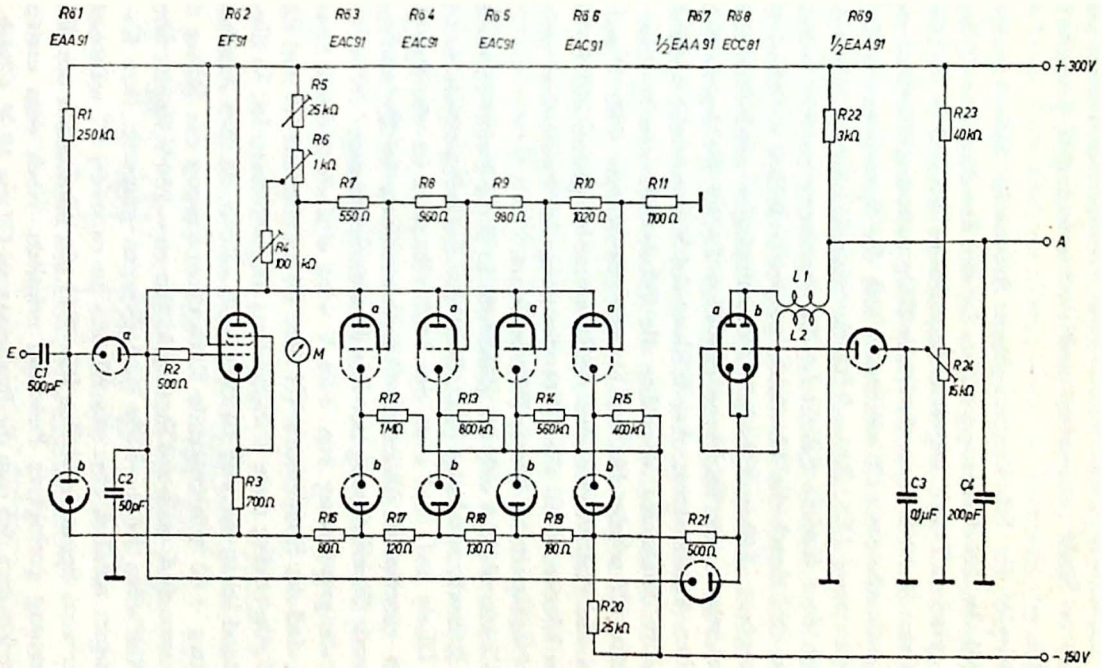

Rö1
EAA91
Rö2
EF91
Rö3
EAC91
Rö4
EAC91
Rö5
EAC91
Rö6
EAC91
Rö7 Rö8
½EAA91 ECC81
Rö9
½EAA91
+300V
A
-150V
E
R1 250kΩ
R2 500Ω
R3 700Ω
R4 100kΩ
R5 25kΩ
R6 1kΩ
R7 550Ω
R8 560Ω
R9 980Ω
R10 1020Ω
R11 1100Ω
R12 1MΩ
R13 800kΩ
R14 560kΩ
R15 400kΩ
R16 80Ω
R17 120Ω
R18 130Ω
R19 180Ω
R20 25kΩ
R21 500Ω
R22 3kΩ
R23 40kΩ
R24 15kΩ
C1 500pF
C2 50pF
C3 0,1µF
C4 200pF
L1
L2
M
a
b

Abb. 4.2

men; sie muß also gewissermaßen nach jedem Steuerimpuls auf einer anderen Stufe „einrasten“ und dort automatisch festgehalten werden.

Ein Beispiel für Schaltungen dieser Art ist in Abb. 4.2 dargestellt (6). In der Ausgangsposition ist der Kondensator C2 auf +60 V geladen. Durch negative Impulse an E wird er in fünf Schritten von je 12 V über die Diode Röla entladen. Parallel zur Spannungsabnahme an C2 verringert sich die Spannung am Kathodenwiderstand (R3, R16—R20) der angeschlossenen Pentode Rö2. Nach dem fünften Schritt ist die Spannung an R20 soweit gesunken, daß durch die bis dahin gesperrte Röhre 8 Strom zu fließen beginnt. Röhre 8 ist als Sperrschwinger geschaltet und führt nun wegen der Rückkopplung über L1/L2 für kurze Zeit einen hohen Anodenstrom. Am Widerstand R21 entsteht dadurch eine positive Spannung, die über die Diode Rö7 den Speicherkondensator C2 wieder bis zum Ausgangswert von +60 V auflädt. Um die Amplituden der Aufladeimpulse genau auf 60 V halten zu können, wird die Gitterspannung des Sperrschwingers mit der vorgespannten Diode Rö9 begrenzt.

Soweit unterscheidet sich die Zählstufe in ihrer Funktion nicht von der Pentodenschaltung (4.2). Statt der Entladepentode weist sie eine Diode auf, und statt des Multivibrators ist ein Sperrschwinger vorgesehen. Das eigentlich Interessante ist die nun zu besprechende Stabilisierung der Kondensatorspannung.

Die Anfangsspannung von +60 V wird einfach dadurch festgehalten, daß der Kondensator C2 über R4 an eine mit R5 und R6 auf 60 V eingestellte feste Vorspannung angeschlossen ist. In diesem Zustand leiten die vier Dioden Rö3b—Rö6b, da ihre Anoden an die etwa +60 V betragende Kathodenspannung der Röhre 2 angeschlossen sind, während ihre Kathoden an —150 V liegen. Die vier Haltetrioden Rö3a—Rö6a sind dagegen gesperrt. Ihre Kathoden liegen nämlich über die Dioden an ca. +60 V, während die Gitter vom Spannungsteiler R5—R11 ein mindestens um die Sperrspannung geringeres Potential erhalten. Nach dem ersten Impuls verkleinert sich nun die Spannung an C2 um 12 V. Gleichzeitig sinkt auch die Anodenspannung der Dioden und damit die

Kathodenspannung der Haltetrioden um diesen Betrag ab. Die Triode mit der höchsten Gitterspannung — Rö3a — öffnet sich dadurch. Ihre Kathode nimmt etwa das Potential des Gitters an, und die Diode Rö3b wird so gesperrt.

Wesentlich ist nun, daß der Strom durch Rö3a gerade so groß ist, daß die Anodenspannung 48 V beträgt. Das ist genau die Spannung, die dem Speicherkondensator C2 nach dem ersten Steuerimpuls zukommt. Auf diese Weise ist die Spannung an C2 unabhängig vom Diodenwiderstand und etwaigen Isolationswiderständen geworden und für beliebige Zeiten stabil. Entscheidend für die richtige Funktion des Stabilisierungsmechanismus ist, daß die Diode Rö3b sperrt, sowie die Haltetriode beginnt, Strom zu führen. Dadurch werden Kathoden- und Gitterkreis der Röhre 2 entkoppelt und es kann keine Selbsterregung eintreten.

Nach dem zweiten Impuls sperrt die Diode Rö4b und die Triode Rö4a beginnt zu leiten. Die Spannung an R4 verringert sich dadurch auf 36 V, und auch diese Potentialstufe ist stabilisiert. Gleiches wiederholt sich nach dem dritten und nach dem vierten Impuls mit den Röhren Rö5 und Rö6. Der fünfte Impuls schließlich versetzt die Anordnung wieder in den stabilen Ausgangszustand. Das Meßinstrument M zeigt den jeweiligen Zählerstand an.

Die Auflösung dieser bis 5 zählenden Schaltung liegt bei 0,25 μsec, wenn die Steuerimpulse eine Dauer von 0,1 μsec haben.

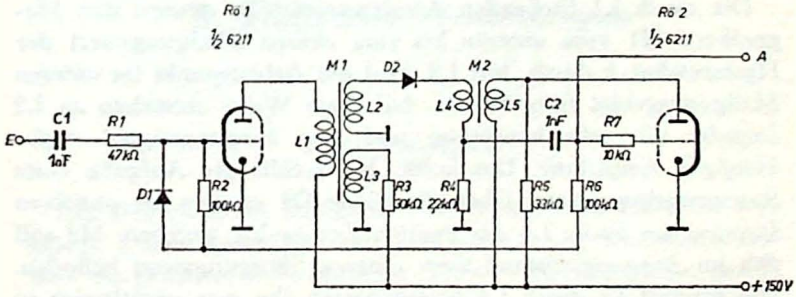


Abb. 4.3

Selbstverständlich arbeiten die Stabilisierungskreise nicht derartig schnell. Sie brauchen jedoch erst dann wirksam zu werden, wenn die selbständige Ladungsveränderung des Speicherkondensators merkbar wird, also nach wesentlich längeren Zeiten.

4.4 Schaltung mit Magnetkernen

In beiden vorstehend beschriebenen Schaltungen wurde als speicherndes Element eine Kapazität verwendet. Genau so gut kann zur Integration ein Magnetmaterial mit annähernd rechteckförmiger Hystereseschleife herangezogen werden. Analog zur schrittweisen Spannungsänderung eines Kondensators wird hierbei die schrittweise Magnetisierung ausgenützt (7, 8).

Das Prinzip einer so arbeitenden Schaltung geht aus Abb. 4.3 hervor. Am Eingang E der Anordnung liegt eine Sinusspannung von 15—30 V_{eff} oder eine entsprechend große Impulsspannung mit einem Tastverhältnis von annähernd 1. Röhre 1 wird von den großen Signalen periodisch geöffnet und gesperrt. Gleichzeitig entsteht in ihrem Gitterkreis eine negative Vorspannung für Röhre 2. Wenn nicht mit periodischen Spannungen, sondern mit beliebig verteilten Impulsen gearbeitet werden soll, müssen beide Röhren mit einer von außen zugeführten negativen Gitterspannung gesperrt werden.

Die durch L1 fließenden Anodenstromstöße steuern den Magnetkern M1 vom unteren bis zum oberen Sättigungswert der Hysteresekurve durch. Mit L3 wird der Arbeitspunkt im unteren Sättigungsgebiet festgehalten. Auf diese Weise entstehen an L2 Impulse mit sehr konstanter und vom Eingangssignal unabhängiger Amplitude. Das heißt, M1 erfüllt die Aufgabe eines Spannungsbegrenzers. Über die Diode D2 werden die positiven Impulse zur Spule L4 des zweiten Kernes M2 gegeben. M2 soll sich im Ausgangszustand beim unteren Sättigungswert befinden. Die Stromstöße durch L4 magnetisieren ihn nun schrittweise in positiver Richtung. Am Widerstand R4 entsteht dabei nur eine

geringe Spannung, da die Induktivität von L4 groß ist. Nach einer Anzahl von Schritten ist M2 jedoch bis zum oberen Sättigungswert magnetisiert und die Induktivität von L4 ist sehr klein geworden. Ein jetzt eintreffender Impuls erzeugt daher an R4 einen so großen Spannungsabfall, daß die Sperrung der Röhre 2 überwunden wird. Durch L5 fließt ein Anodenstromstoß und magnetisiert M2 wieder bis zum unteren Sättigungswert um. Damit ist ein Zählzyklus durchlaufen, und die schrittweise Magnetisierung kann erneut beginnen.

Die Anzahl der Schritte, d. h. die Zählkapazität, wird vorwiegend durch das Verhältnis der Induktivitäten L2 und L4 bestimmt. Schrittzahlen bis zu 15 sind ohne weiteres erreichbar. Der Frequenzbereich des Schaltbeispiels erstreckt sich von 10—50 kHz. Dabei darf die Anodenspannung um ±10% schwanken und die Heizspannung der Röhren kann bis 4,5 V absinken. Die Betriebssicherheit der Anordnung ist also sehr gut. Nachteilig ist jedoch, daß der jeweilige Zählerstand mit einfachen Mitteln nicht abgelesen werden kann. Es wäre dazu eine laufende Messung der Kernmagnetisierung erforderlich, die nur mit einem beträchtlichen Schaltaufwand durchführbar ist. Anordnungen dieser Art werden deshalb trotz ihres großen Frequenzbereiches vorwiegend als reine Frequenzteiler eingesetzt.

5. Ringzähler-Schaltungen

5.1 Grundsätzliches

Die Definition der Ringzähler wurde bereits in Abschnitt 2 gegeben. Unter Ringzähler soll jede Anordnung verstanden werden, die genau so viele Stufen besitzt, wie sie Zählschritte ausführen kann. Jede der ringförmig hintereinandergeschalteten Stufen verfügt über einen Ruhezustand und einen angeregten Zustand.

Es ist immer nur eine Stufe angeregt, und jeder Zählimpuls überträgt die Anregung zur nächstfolgenden Stufe.

Ein solcher Zählmechanismus führt zwangsläufig zu großem Aufwand an Schaltelementen. Trotzdem werden die Ringzähler sehr häufig angewendet und bilden eine der wichtigsten Gruppen innerhalb der Zählschaltungen. Die Erklärung dafür ist einfach: Bei vielen Steuervorgängen wird eine zyklische Umschaltung oder Abtastung anderer Baugruppen verlangt. Mit Ringzählern können solche Aufgaben sehr einfach gelöst werden, indem die abzutastenden Schalteinheiten an die verschiedenen Stufen des Zählringes angeschlossen werden. Bei anderen Zählverfahren wären dagegen umfangreiche Zusatzschaltungen erforderlich. Trotz des größeren Aufwandes der eigentlichen Zählschaltung führt daher in solchen Fällen der Ringzähler zu einfachem Aufbau der Gesamtschaltung.

5.2 Ringe aus Glimmröhren und Vierschichtdioden

Am einfachsten lassen sich Ringzähler aus Gasdioden mit kalten Kathoden aufbauen (9). Abb. 5.1a zeigt ein für eine maximale Zählfrequenz von 500 Hz geeignetes Beispiel. Der vierstufige Ring wird über E mit negativen Impulsen gesteuert. Impulsamplitude und Impulsdauer sind kritisch und müssen optimal eingestellt werden. Zur Erklärung der Funktion sei angenommen, daß Röhre 2 Strom führe. Die drei anderen Röhren sind gelöscht und können ohne äußere Einflüsse nicht zünden, da der Strom durch Röhre 2 die Spannung am gemeinsamen Anodenwiderstand R5 unter die Zündspannung absinken läßt. Der Kondensator C3 ist auf das Kathodenpotential der Röhre 2 geladen, da die Diode D4 für die entsprechende Stromrichtung leitend ist. Ein jetzt zugeführter negativer Steuerimpuls erniedrigt die Spannung an R5 soweit, daß auch Rö2 zur Löschung kommt. Es entlädt sich aber nun C3 über R3 und den Sperrwiderstand der Diode D4. An letzterem entsteht dabei eine negative Spannung, die fast die gleiche Größe hat, wie zuvor die positive Spannung an R3. Dadurch

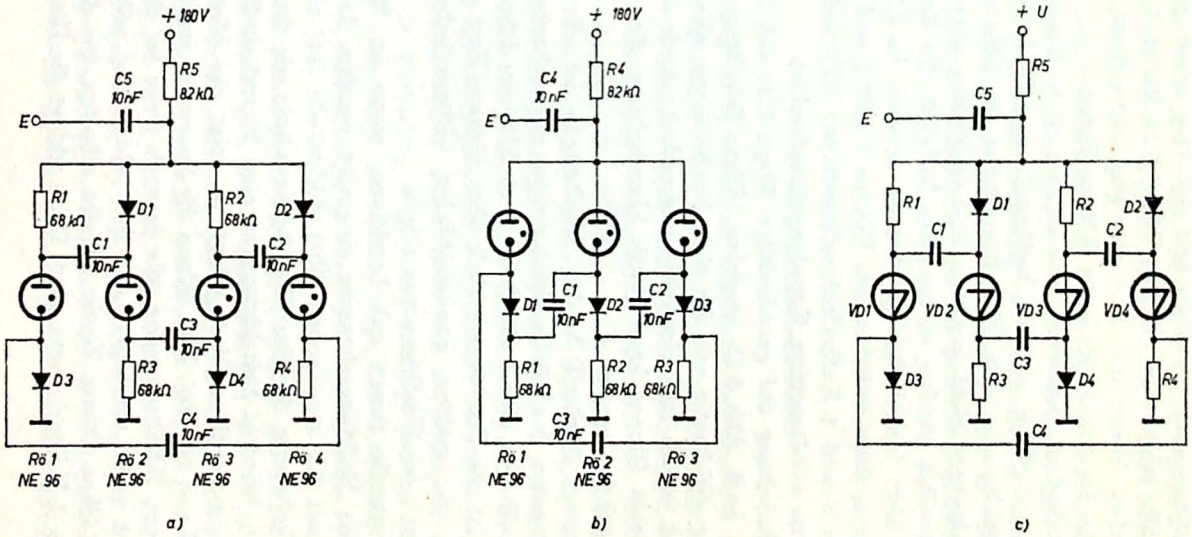

+ 180V
C5
10nF
R5
82kΩ
E
R1
68kΩ
D1
R2
68kΩ
D2
C1
10nF
C2
10nF
C3
10nF
D3
R3
68kΩ
D4
R4
68kΩ
C4
10nF
Rö 1
NE 96
Rö 2
NE 96
Rö 3
NE 96
Rö 4
NE 96
a)
+ 180V
C4
10nF
R4
82kΩ
E
D1
C1
10nF
D2
C2
10nF
D3
R1
68kΩ
R2
68kΩ
R3
68kΩ
C3
10nF
Rö 1
NE 96
Rö 2
NE 96
Rö 3
NE 96
b)
+ U
R5
C5
E
R1
D1
R2
D2
C1
C2
VD1
VD2
VD3
VD4
C3
D3
R3
D4
R4
C4
c)

Abb. 5.1

kann die Glimmröhre 3 zünden und der Ring einen Zählschritt ausführen. Der nächste Schritt von Röhre 3 zu Röhre 4 geschieht in der gleichen Weise mit dem einzigen Unterschied, daß die Koppelglieder im Anodenkreis der Röhren liegen.

Die abwechselnd kathoden- und anodenseitige Kopplung der Röhren hat zur Folge, daß die Stellenzahl so aufgebauter Ringe stets geradzahlig sein muß. Eine Begrenzung der Röhrenzahl des Ringes ist dagegen nicht gegeben. Soll wahlweise vorwärts und rückwärts gezählt werden, so brauchen lediglich die Koppelkondensatoren über Umschalter geführt zu werden. In Rückwärtsstellung liegen dann zwischen den Röhren 1 und 2 und zwischen den Röhren 3 und 4 Kathodenkondensatoren, während die anderen Röhren anodenseitige Kopplungen aufweisen.

Die Beschränkung auf geradzahlige Ringe läßt sich mit einer Anordnung nach Abb. 5.1b umgehen. Diese Schaltung (10) arbeitet völlig gleichartig wie die oben beschriebene, alle Koppelglieder sind jedoch kathodenseitig angeordnet. Auch die Zählrichtung dieses Ringes kann durch Umschaltung der Kondensatoren umgekehrt werden.

Gemeinsamer Nachteil beider Schaltungen ist die geringe Maximalfrequenz. Auch bei anderer als der angegebenen Dimensionierung dürften sich bestenfalls 2—3 kHz erreichen lassen. Außerdem ist die Betriebssicherheit über längere Zeit unbefriedigend, da die meisten handelsüblichen Glimmdioden starke Schwankungen der Zündspannung zeigen.

Beide Nachteile lassen sich beseitigen, wenn an Stelle der Glimmröhren Halbleiterelemente eingesetzt werden. In neuerer Zeit steht mit der sogenannten Vierschichtdiode (11) ein Halbleiter zur Verfügung, der eine ähnliche Kennlinie wie die Glimmröhre besitzt. Wird in Leitrichtung an eine Vierschichtdiode eine Spannung von wenigen Volt gelegt, so zeigt die Diode einen Widerstand von 10—100 MΩ. Wenn die Spannung jedoch bis zu einer gewissen Schaltspannung, die je nach Type bei 20—50 V liegt, erhöht wird, verringert sich der Widerstand plötzlich bis auf wenige Ohm. Dieser Zustand bleibt erhalten, bis die Spannung auf 1—2 V herabgesetzt wird. Dann schlägt die Diode plötz-

lich wieder um und zeigt den hohen Anfangswiderstand. Im Gegensatz zur relativ trägen Gasdiode liegen dabei die Umschlagzeiten unterhalb 100 nsec.

Mit Vierschichtdioden lassen sich Zählringe aufbauen, die analog den beschriebenen arbeiten. Abb. 5.1c zeigt hierfür ein Beispiel. Die Schaltung entspricht vollkommen der Glimmröhrenschaltung Abb. 5.1a. Es lassen sich jedoch ungleich höhere Zählgeschwindigkeiten erreichen, und die Betriebssicherheit ist erheblich besser.

5.3 Ring aus Relaisröhren

Ein häufig in Ringzählerschaltungen verwendetes Bauelement ist die Relaisröhre. Dies ist eine Gasentladungsröhre mit kalter Kathode, die außer Anode und Kathode über eine oder mehrere zusätzliche Elektroden, sogenannte Starter, zur Einleitung der Zündung verfügt. Die Zündung einer Starter-Kathoden-Strecke geschieht bei erheblich niedrigeren Spannungen als die der Anoden-Kathoden-Strecke. Sowie der Starter gezündet hat und dadurch eine große Zahl freier Ladungsträger in der Röhre erzeugt worden sind, übernimmt die Anode die Entladung und zündet ebenfalls. Durch einen positiven Steuerimpuls am Starter kann so die Entladung eingeleitet werden, obwohl die Anodenspannung unter dem Zündwert liegt. Zur Löschung der Röhre muß die Anodenspannung unter die Brennspannung verringert werden.

Moderne Relaisröhren sind mit Kathoden aus reinstem Molybdän ausgerüstet. Gegenüber Systemen mit aktivierten Kathoden besitzen sie außerordentlich konstante Starterzündspannungen und eignen sich daher gut zum Aufbau von Zählringen. Ein Schaltbeispiel dieser Art ist in Abb. 5.2 dargestellt (12). Zur Steuerung des Zählringes werden positive Impulse von ca. 120 V Amplitude und 20 μsec Dauer gebraucht. Impulse an EV schalten den Zählring in Vorwärtsrichtung fort, während an ER angelegte Impulse

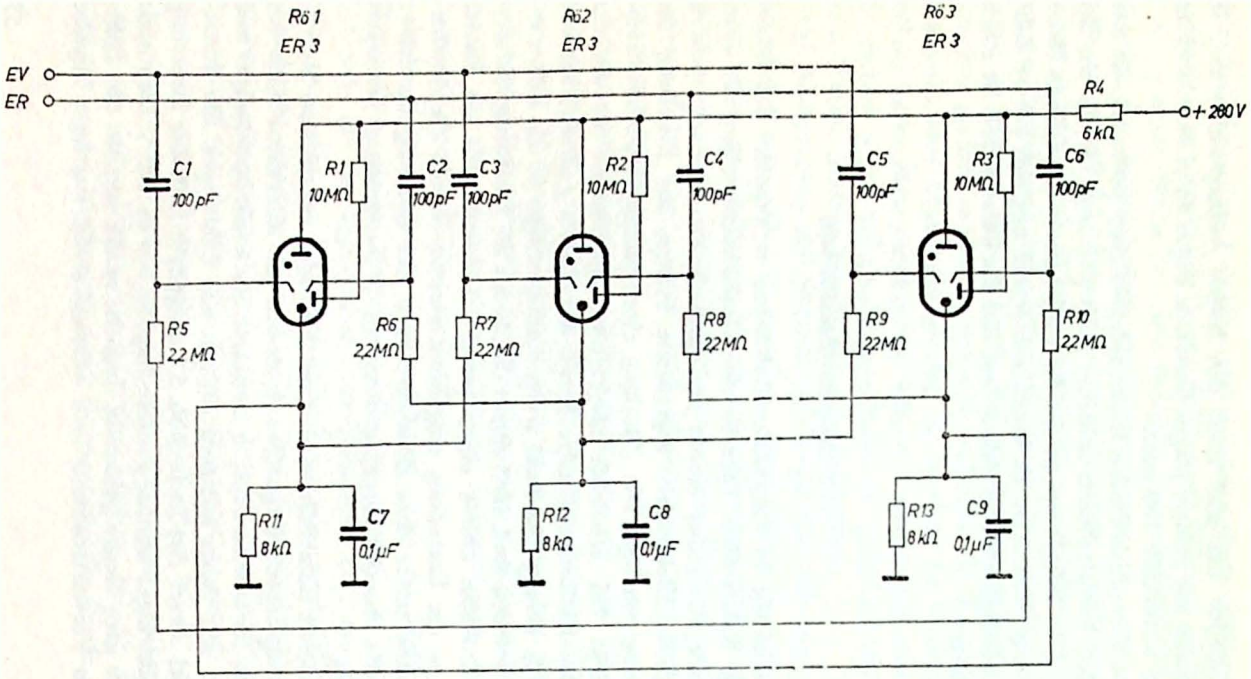

Rö 1
ER 3
Rö 2
ER 3
Rö 3
ER 3
EV
ER
R4
6 kΩ
+ 280 V
C1
100 pF
R1
10 MΩ
C2
100 pF
C3
100 pF
R2
10 MΩ
C4
100 pF
C5
100 pF
R3
10 MΩ
C6
100 pF
R5
2,2 MΩ
R6
2,2 MΩ
R7
2,2 MΩ
R8
2,2 MΩ
R9
2,2 MΩ
R10
2,2 MΩ
R11
8 kΩ
C7
0,1 µF
R12
8 kΩ
C8
0,1 µF
R13
8 kΩ
C9
0,1 µF

Abb. 5.2

den Ring rückwärts fortschalten. Der Zählmechanismus ist in beiden Richtungen der gleiche. Zu seiner Erklärung sei angenommen, daß Röhre 1 brenne. Ihr Anodenstrom erzeugt am gemeinsamen Anodenwiderstand R4 einen so großen Spannungsabfall, daß keine zweite Röhre zünden kann. Gleichzeitig entsteht am Kathodenwiderstand R11 eine positive Spanung, die sowohl zum linken Starter der Röhre 2 als auch zum rechten Starter der Röhre 3 gelangt. Diese beiden Starter sind die einzigen im Ring, die eine positive Vorspannung besitzen. Wird jetzt an EV ein positiver Impuls angelegt, so wird daher der erstgenannte Starter und damit die Röhre 2 zünden. Da der Strom durch diese Röhre erst den Kathodenkondensator C8 aufladen muß, sinkt die Spannung an R4 für kurze Zeit um den Betrag der Kathodenspannung ab. Da während dieser Zeit C7 noch teilweise aufgeladen ist, wird die an Röhre 1 entstehende Anodenspannung kleiner als die Brennspannung, und die Röhre löscht. Der Ring hat so einen Schritt in Vorwärtsrichtung ausgeführt. Wäre der Steuerimpuls über ER zugeführt worden, so hätte Röhre 3 gezündet und der Zähler hätte einen Rückwärtsschritt getan.

Außer den beiden Startern weisen die Relaisröhren ER3 (Elesta) noch eine dritte zusätzliche Elektrode auf. Diese sogenannte Hilfsanode ist über einen Widerstand von 10 MΩ mit der Anodenspannung verbunden. Sie hat die Aufgabe, ständig einen minimalen Strom durch die Röhre fließen zu lassen. Die dadurch entstehende schwache Ionisation des Füllgases setzt die Ionisationszeit im Zündmoment herab und verkürzt so die Trägheit der Röhre. Es ist auf diese Weise möglich, mit dem Zählring Impulsfolgefrequenzen bis zu etwa 2 kHz zu verarbeiten.

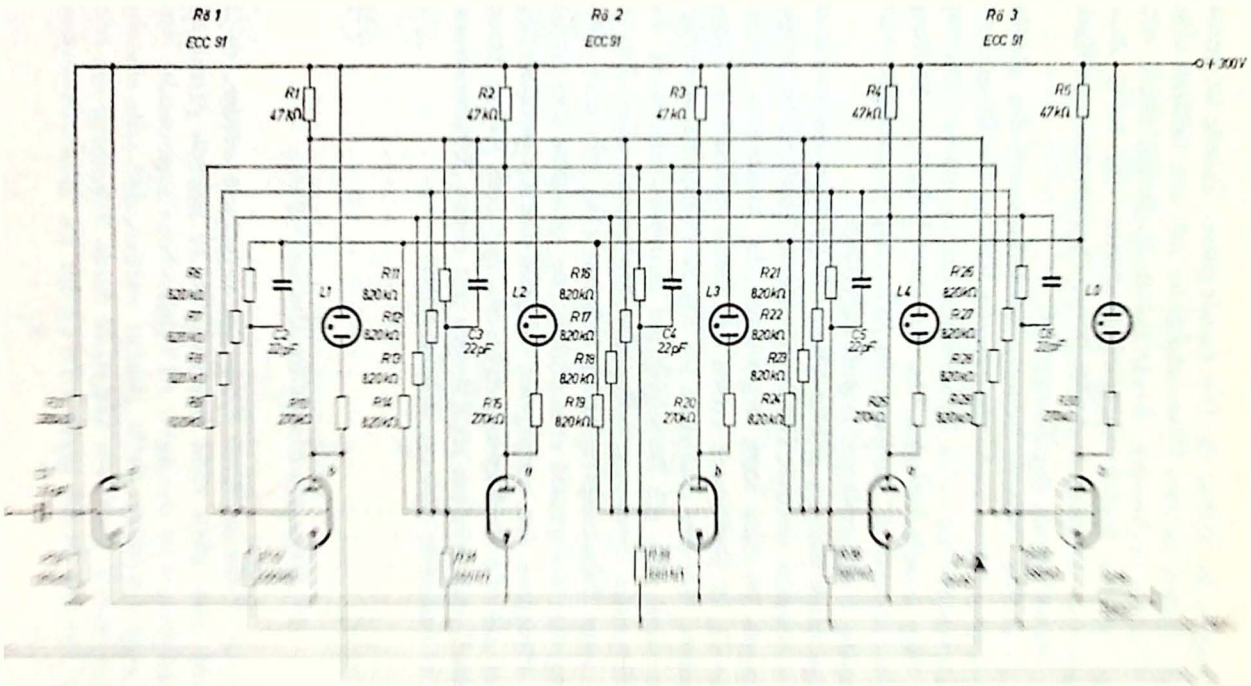
5.4 Ring aus Trioden

Der Aufbau der in den Abschnitten 5.2 und 5.3 beschriebenen Zählringe gestaltet sich sehr einfach, da die verwendeten Gasentladungsröhren oder Vierschichtdioden selbst über zwei ver-

schiedene stabile Zustände verfügen. Sollen dagegen die Stufen des Ringes mit normalen Vakuumröhren bestückt werden, die keine derartigen Eigenschaften besitzen, komplizieren sich die Schaltungen wesentlich. Durch zahlreiche Kopplungswege zwischen den einzelnen Röhren muß dafür gesorgt werden, daß eine einzelne stromführende Röhre die Sperrung aller anderen verursacht. Weitere Kopplungen müssen die Fortschaltung des Ringes besorgen.

Abb. 5.3 zeigt am Beispiel eines fünfstelligen Ringes eine Lösung des Kopplungsproblems (13). Der Zählring besteht aus den fünf Trioden Rö1b — Rö3b; die Röhre 1a dient zur Triggerung des Systems. Die Steuerung erfolgt kathodenseitig über den gemeinsamen Kathodenwiderstand R38. Als Ausgangszustand des Ringes sei angenommen, daß die Röhre 2a Strom führe. Ihre Anodenspannung ist daher stark verringert. Die Gitter aller anderen Trioden sind über Spannungsteiler mit der Anode der Röhre 2a verbunden. Durch geeignete Wahl der Teilverhältnisse wird erreicht, daß so alle vier Röhren gesperrt sind. Umgekehrt ist das Gitter von Röhre 2a über gleiche Spannungsteiler mit den Anoden der anderen Trioden gekoppelt. Da diese die Speisespannung von 300 V führen, halten sie Röhre 2a geöffnet. Der Zustand, daß Röhre 2a leitet und alle anderen Systeme gesperrt sind, ist dadurch stabil. Im wesentlichen liegt dabei der gleiche Mechanismus wie bei einem bistabilen Multivibrator vor.

An den Eingang E wird nun ein positiver Steuerimpuls gegeben. Er hebt die gemeinsame Kathodenspannung aller Trioden in positiver Richtung an. Die bisher leitende Röhre 2a wird so gesperrt. Obwohl sich dadurch über die Spannungsteiler die Gitterspannungen der anderen Röhren erhöhen, werden diese nicht geöffnet, da die Kathodenspannung während des Steuerimpulses zu groß ist. Eine Ausnahmestellung nimmt dabei jedoch das System Rö2b ein. Der Widerstand R16, der dessen Gitter mit der Anode der Röhre 2a verbindet, ist mit C4 kapazitiv überbrückt. Der positive Anodenimpuls der Röhre 2a kann daher kurzzeitig in unverminderter Größe an diesem Gitter wirksam werden. Er ist groß genug, um die erhöhte Kathodenspannung zu überwin-


Rö 1
ECC 91
Rö 2
ECC 91
Rö 3
ECC 91
+300V
R1 47kΩ
R2 47kΩ
R3 47kΩ
R4 47kΩ
R5 47kΩ
R6 820kΩ
R7 820kΩ
R8 820kΩ
R9 820kΩ
R10 270kΩ
R11 820kΩ
R12 820kΩ
R13 820kΩ
R14 820kΩ
R15 270kΩ
R16 820kΩ
R17 820kΩ
R18 820kΩ
R19 820kΩ
R20 270kΩ
R21 820kΩ
R22 820kΩ
R23 820kΩ
R24 820kΩ
R25 270kΩ
R26 820kΩ
R27 820kΩ
R28 820kΩ
R29 820kΩ
R30 270kΩ
C2 22pF
C3 22pF
C4 22pF
C5 22pF
C6 22pF
L1
L2
L3
L4
L5

den, und öffnet die Röhre 2b. Die Anode dieser Triode ist genau wie die der Röhre 2a über Spannungsteiler mit den Gittern aller anderen Trioden verbunden. Sowie Röhre 2b Strom führt, tritt daher der gleiche Stabilisierungsmechanismus wie beim Ausgangszustand in Funktion und hält Röhre 2b auch dann geöffnet, wenn der Steuerimpuls abgeklungen ist.

Beim Eintreffen weiterer Impulse wiederholt sich der gleiche Vorgang und es leiten nacheinander alle Röhren des Ringes. An den Glimmlampen L0 — L4 ist zu erkennen, in welcher Stellung sich der Ring jeweils befindet. Um aus einer beliebigen Stellung heraus den Zustand „0" (Leitung der Röhre 3b) zu erzeugen, wird dem Eingang R ein positiver Impuls zugeführt.

Mit dem beschriebenen Zähler können Impulsfrequenzen bis zu 50 kHz verarbeitet werden. Der entscheidende Nachteil derartiger Anordnungen ist eine enge Begrenzung der Stufenzahl. Ringe mit mehr als 10 Stellungen lassen sich kaum realisieren. Abgesehen davon, daß der Aufwand an Koppelelementen unerträglich hoch wird, setzt die Belastung der Anodenkreise durch die parallelliegenden Spannungsteiler der Stufenzahl eine Grenze. Es sind zwar Schaltungsvarianten bekannt (14), die eine Vergrößerung der Stellenzahl ermöglichen, sie erkaufen dies jedoch mit der Preisgabe des wichtigsten Vorteils des Ringzählers: Sie verzichten auf die Bedingung, daß stets nur eine Röhre Strom führen darf, und arbeiten statt dessen mit einem Kombinationsschema, in dem stets mehrere Röhren leiten.

5.5 Ringe aus bistabilen Multivibratoren

Sollen mit Vakuumröhren Zählringe aufgebaut werden, deren Stufenzahl nach oben nicht begrenzt ist, so müssen prinzipiell andere Verfahren als das unter 5.4 beschriebene angewendet werden. Es muß unbedingt dafür gesorgt werden, daß jede einzelne Stufe zwei stabile Zustände besitzt, zu deren Erhaltung die Mitwirkung anderer Stufen nicht erforderlich ist. Diese Bedingung

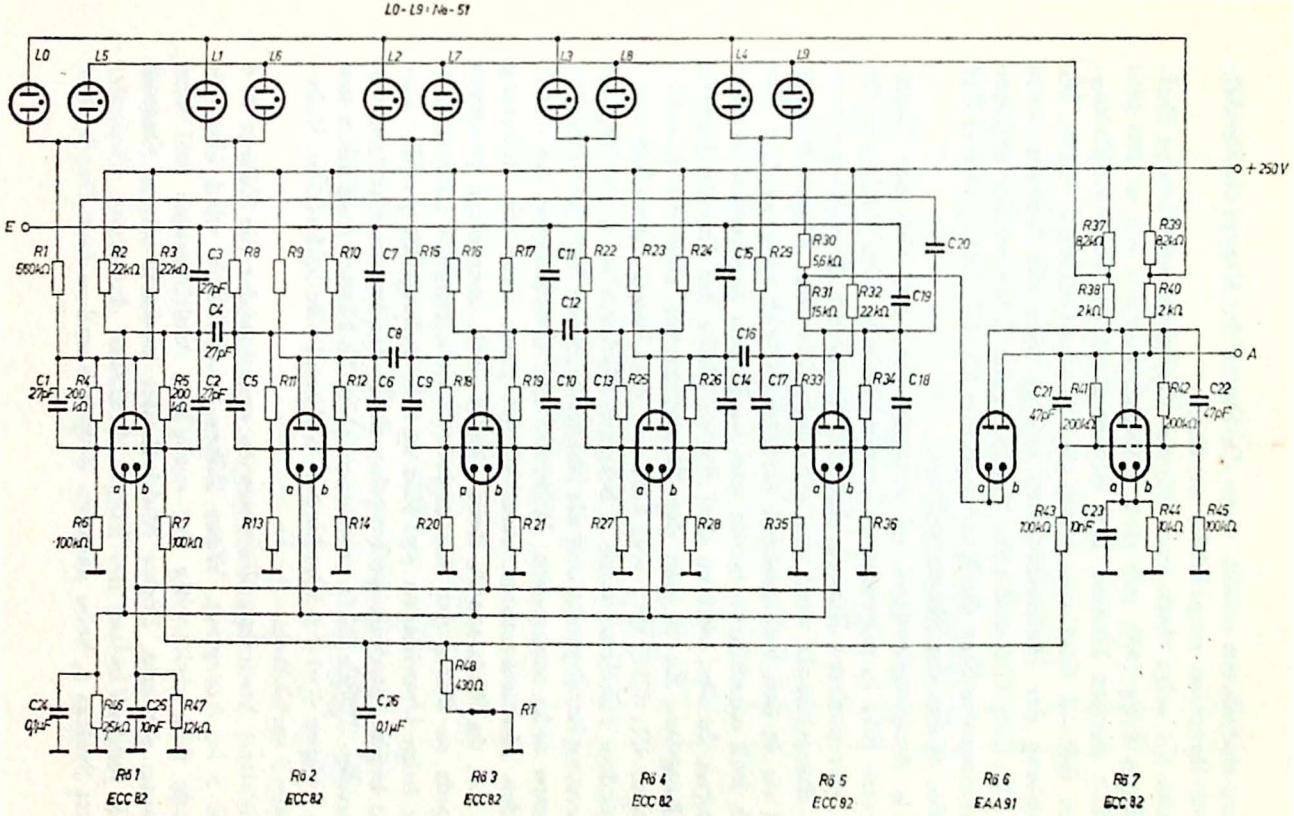

L0-L9 Nr-51
L0
L5
L1
L6
L2
L7
L3
L8
L4
L9
+250V
E
A
R1 560kΩ
R2 22kΩ
R3 22kΩ
C3 27pF
C4 27pF
R8
R9
R10
C7
R15
R16
R17
C11
R22
R23
R24
C15
R29
R30 56kΩ
R31 15kΩ
R32 22kΩ
C19
C20
C12
C8
C16
R37 82kΩ
R39 82kΩ
R38 2kΩ
R40 2kΩ
C1 27pF
R4 200 kΩ
R5 200 kΩ
C2 27pF
C5
R11
R12
C6
C9
R18
R19
C10
C13
R25
R26
C14
C17
R33
R34
C18
C21 47pF
R41 200kΩ
R42 200kΩ
C22 47pF
R6 100kΩ
R7 100kΩ
R13
R14
R20
R21
R27
R28
R35
R36
R43 100kΩ
C23 10nF
R44 100kΩ
R45 100kΩ
C24 0,1μF
R46 25kΩ
C25 10nF
R47 12kΩ
C26 0,1μF
R48 430Ω
RT
Rö 1
ECC 82
Rö 2
ECC 82
Rö 3
ECC 82
Rö 4
ECC 82
Rö 5
ECC 92
Rö 6
EAA 91
Rö 7
ECC 82

Abb. 5.4

ist am einfachsten erfüllt, wenn die Stufen des Ringes als bistabile Multivibratoren ausgebildet werden.

Abb. 5.4 zeigt einen nach diesem Verfahren arbeitenden fünfstelligen Ring (15), mit dem Impulsfrequenzen bis zu 200 kHz gezählt werden können. Der Ruhezustand der fünf Multivibratoren Rö1—5 liegt vor, wenn die Triodensysteme a leiten. Die Kopplung der Multivibratoren erfolgt über die Kondensatoren C4, C8, C12, C16 und C20. Vom Eingang E her werden negative Steuerimpulse über die Kondensatoren C3, C7, C11, C15 und C19 zu den Stufen des Ringes geführt.

Als Ausgangszustand sei angenommen, daß sich der Multivibrator Rö1 in angeregtem Zustand befinde, also Rö1b leite. In den vier anderen Röhren sind die Systeme b dagegen gesperrt. Ein Steuerimpuls wird nun die Stufe Rö1 zum Kippen bringen und sie in den Ruhezustand versetzen. Gleichzeitig wird er aber auch Rö2 umschlagen lassen und sie in den angeregten Zustand bringen, In den übrigen drei Stufen bleibt der Impuls dagegen wirkungslos. Zu Beginn des Steuerimpulses sind die Kondensatoren C7, C11, C15 und C20 mit den Innenwiderständen der leitenden Triodensysteme a belastet. Dadurch wird die Impulsspannung herabgesetzt und die Multivibratoren Rö3, Rö4 und Rö5 können nicht ansprechen. Während des Umschlagens der ersten beiden Multivibratoren verschwindet dann zwar die Belastung für C7, da Rö2a sperrt, dafür liefert Rö2a aber einen positiven Impuls zu Rö3a, der den negativen Steuerimpuls kompensiert. Der beim Umschlagen von Rö1 zu Rö5 gelangende positive Impuls bleibt ebenfalls wirkungslos, da er am Innenwiderstand der leitenden Triode Rö5a zusammenbricht. Es können nach allem nur die Röhren 1 und 2 umschlagen, während alle anderen im Ruhezustand verbleiben.

Weitere Steuerimpulse versetzen nacheinander die Röhren 3, 4 und 5 in Anregung. Wenn Röhre 5 umschlägt, wird über die Diode Rö6 gleichzeitig der zusätzliche Multivibrator Rö7 zum Kippen gebracht. Dieser Multivibrator wechselt seinen Zustand nach jedem Umlauf des Ringes. Während des ersten Umlaufes leitet System a, beim nächsten Zyklus b und so fort. Durch diese

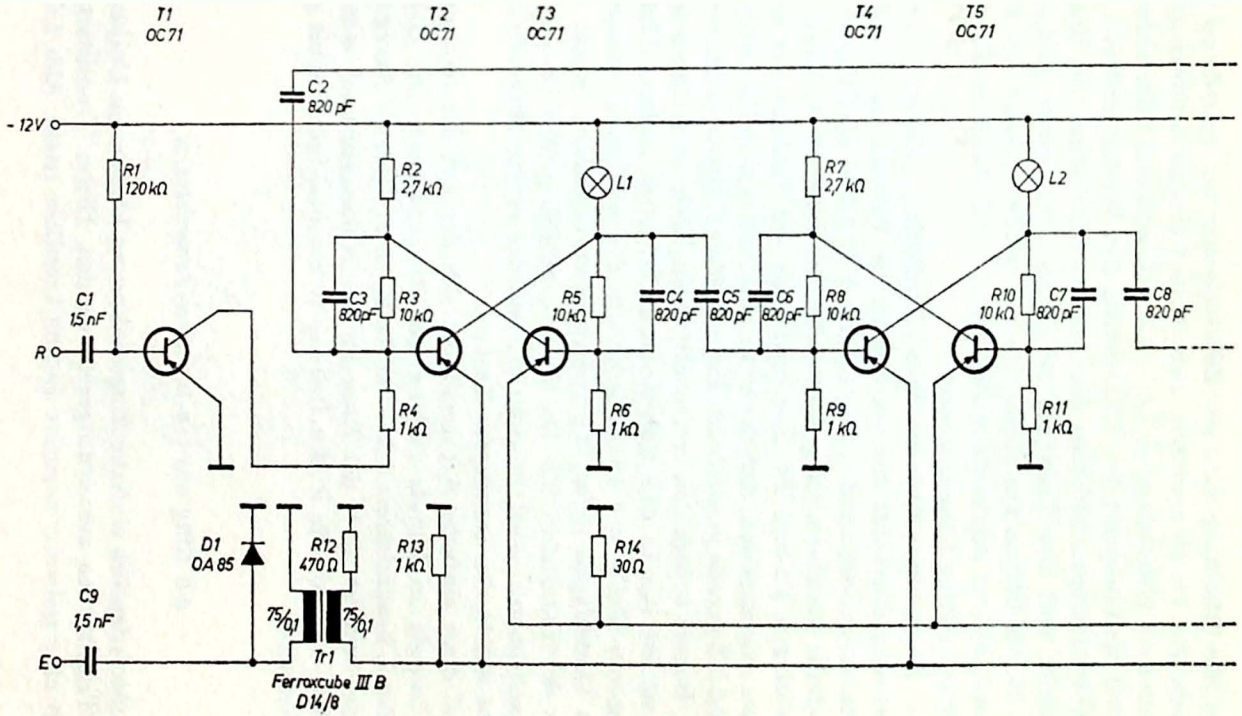

T1
OC71
T2
OC71
T3
OC71
T4
OC71
T5
OC71
C2
820 pF
- 12V
R1
120 kΩ
R2
2,7 kΩ
L1
R7
2,7 kΩ
L2
C1
1,5 nF
R
C3
820 pF
R3
10 kΩ
R5
10 kΩ
C4
820 pF
C5
820 pF
C6
820 pF
R8
10 kΩ
R10
10 kΩ
C7
820 pF
C8
820 pF
R4
1 kΩ
R6
1 kΩ
R9
1 kΩ
R11
1 kΩ
D1
OA 85
R12
470 Ω
R13
1 kΩ
R14
30 Ω
C9
1,5 nF
75/0,1
75/0,1
E
Tr1
Ferroxcube III B
D14/8

Abb. 5.5

zusätzliche Schaltung wird die Zählkapazität der Anordnung auf einfache Art bis 10 erweitert. Beim ersten Umlauf leuchten nacheinander die Glimmlampen L0 — L4 auf, während beim nächsten Umlauf die Lampen L5 — L9 arbeiten. Der Wechsel geschieht, da die Glimmlampen zwischen die Anoden der Röhren des Ringes einerseits und des Zusatzmultivibrators andererseits geschaltet sind. Durch Öffnen des Kontaktes RT werden sowohl der Ring als auch Rö7 in den Anfangszustand „0" und damit in die richtige gegenseitige Lage gesteuert.

Die Schaltung eines aus Flip-Flop-Stufen gebildeten Zählringes wird übersichtlicher, wenn statt der Vakuumröhren Transistoren verwendet werden (16, 17). In Abb. 5.5 ist als Beispiel ein Ausschnitt aus einem Ring dargestellt. Im Ruhezustand leiten die Transistoren T3 und T5. Zur Erklärung der Funktion des Zählers sei angenommen, daß der erste Multivibrator in Zählstellung ist und T3 gerade gesperrt ist. Ein nun über E eingespeister negativer Impuls bringt den ersten Flip-Flop-Kreis zum Umschlagen und steuert ihn in den Ruhezustand. Bei allen anderen Multivibratoren bleibt der Eingangsimpuls dagegen ohne Wirkung. Beim Umschlagen liefert T2 jedoch einen negativen Impuls zur Basis des Transistors T4. Da dieser erheblich größer ist als der Eingangsimpuls, wird T4 geöffnet, und der zweite Multivibrator begibt sich in den angeregten Zustand.

Auf diese einfache Art verschiebt sich der Ort der Anregung von Impuls zu Impuls entlang der Ringschaltung. Die Glühlampen L kennzeichnen dabei die Stelle, an der sich die Anregung jeweils befindet. Soll der Ring in den Anfangszustand versetzt werden, muß an die Rückstelleitung R ein positiver Impuls gelegt werden.

5.6 Ring aus Unijunction-Transistoren

Außerordentlich einfache Ringschaltungen können aus Unijunction-Transistoren zusammengesetzt werden. Dieser Transistortyp besitzt eine teilweise negative Emitterkennlinie (siehe Abb. 5.6b)

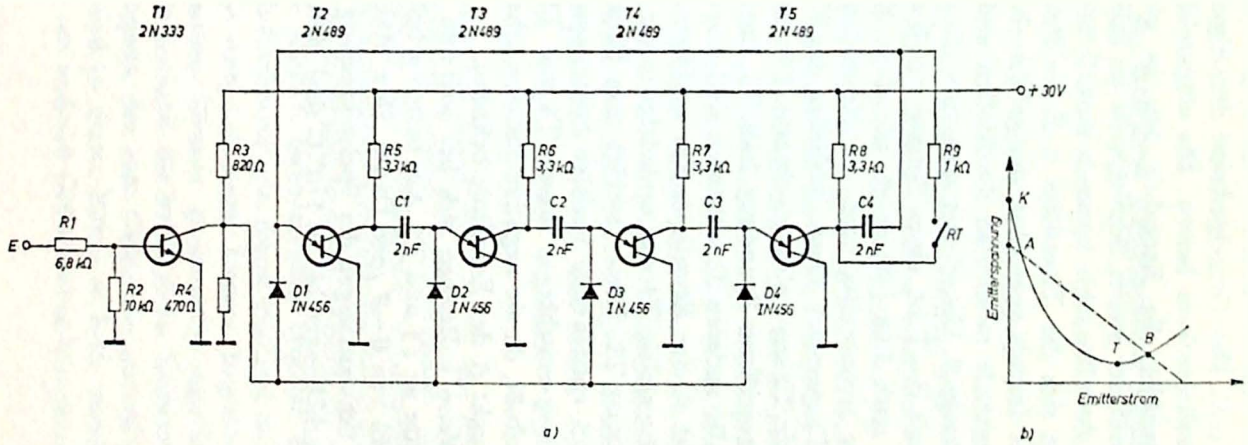

T1
2N333
T2
2N489
T3
2N489
T4
2N489
T5
2N489
+30V
R3
820Ω
R5
3,3kΩ
R6
3,3kΩ
R7
3,3kΩ
R8
3,3kΩ
R9
1kΩ
C1
2nF
C2
2nF
C3
2nF
C4
2nF
RT
E
R1
6,8kΩ
R2
10kΩ
R4
470Ω
D1
1N456
D2
1N456
D3
1N456
D4
1N456
a)
K
A
T
B
Emitterspannung
Emitterstrom
b)

Abb. 5.6

und gestattet den Aufbau bistabiler Stufen mit nur einem einzigen Transistor (18). Der Grundgedanke derartiger Schaltungen geht aus der Kennlinienform hervor. Die eingezeichnete Widerstandsgerade schneidet die Kennlinie nur in einem stabilen Punkt (B), während der zweite Schnittpunkt im fallenden Gebiet liegt. Als stabile Arbeitspunkte kommen deshalb nur A und B in Betracht. Befindet sich der Transistor z. B. im Punkt A und es wird ein positiver Impuls zugeführt, der größer als K—A ist, so wird die Arbeitsgerade momentan durchfallen und der Emitter begibt sich zum Punkt B. Umgekehrt verursacht ein negativer Impuls, der größer als B—T ist, einen Sprung von B nach A.

Die Schaltung nach 5.6a (19) zeigt, wie diese Eigenschaft in einem Ringzähler angewendet wird. Im Normalzustand ist der Steuertransistor T1 gesperrt. Durch Schließen der Taste RT wird die erste Ringstufe T2 zur Leitung gebracht. Die am Spannungsteiler R3/R4 abgegriffene Spannung hält T1 im Punkt B der Kennlinie fest. Alle anderen Transistoren sind gesperrt, befinden sich also in Punkt A der Kennlinie. Ein positiver Steuerimpuls an E öffnet nun kurzzeitig T1 und erniedrigt so die Emitterspannung des Transistors T2. Dieser schlägt zum Punkt A um und sperrt. Der an R5 entstehende positive Sperrimpuls kann aber nun T3 zur Leitung umschlagen lassen. T4 und T5 werden dagegen nicht beeinflußt, da sie negative Impulse erhalten und sich ja ohnedies in Punkt A der Kennlinie befinden.

Auf gleiche Weise vollziehen sich bei weiteren Steuerimpulsen die Zählschritte zu T4 und T5. Am besten arbeitet die Schaltung mit Impulsen von 6—9 μsec Dauer. Ihre Maximalfrequenz liegt bei 40 kHz. Schwankungen der Speisespannung von 20–40 V und Temperaturerhöhungen bis zu 110° C sind ohne Einfluß.

6. Binäre Zählschaltungen

6.1 Grundsätzliches

Zu den binären Schaltungen gehören alle Anordnungen, die sich aus bistabilen Multivibratoren zusammensetzen und deren Stufenzahl kleiner ist als die Zählkapazität. Im Vergleich zu den Ringzählern aus Multivibratoren ist der Aufwand an Bauelementen geringer. Dagegen ist die Ablesung etwas schwieriger, weil jede Zählstellung als Kombination der Stellungen mehrerer Stufen gegeben ist. Ebenso fällt es schwerer, beliebige Werte der Zählkapazität zu realisieren. Trotz dieser Komplizierungen sind die binären Anordnungen neben den Spezialröhrenschaltungen die heute am meisten verwendeten Zählschaltungen. Sie erlauben Zählgeschwindigkeiten bis über 10 MHz, können vorwärts und rückwärts fortgeschaltet werden und lassen sich praktisch allen vorkommenden Erfordernissen anpassen. Nicht zuletzt ist auch ihre Betriebssicherheit sehr gut.

Grundelement der Schaltungen ist in der Regel der aus zwei Trioden aufgebaute bistabile Multivibrator. Abb. 6.1 gibt eine Zusammenstellung der wichtigsten Steuermöglichkeiten dieses Bausteins. Am einfachsten geschieht die Steuerung nach Abb. 6.1a. Abwechselnd positive und negative Impulse an einem Gitter oder zwischen den Gittern abwechselnde Impulse gleicher Polarität lassen den Multivibrator von einem Zustand in den anderen umschlagen. Wie Abb. 6.1b zeigt, können Impulse negativer Richtung auch beiden Gittern gleichzeitig zugeführt werden. Bei jedem Impuls wechselt die Stufe ihren Zustand. Wirksam wird immer der Impuls, der zum Gitter der gerade geöffneten Röhre kommt. Er wird in dieser Röhre so hoch verstärkt, daß er den Steuerimpuls am anderen Gitter völlig kompensiert.

Gleiches geschieht bei der Zuführung des Steuerimpulses an einem gemeinsamen Kathodenwiderstand oder an einem teilweise gemeinsamen Anodenwiderstand (Abb. 6.1c und d). Auch hierbei wirkt der Impuls primär auf das geöffnete Röhrensystem, während er an der anderen Triode durch den in der Polarität umgekehrten Steuerimpuls des leitenden Systems überboten wird. Mit einer zusätzlichen Diodenschaltung kann auch dafür gesorgt werden, daß der Steuerimpuls stets nur an ein Gitter gelangen kann (Abb. 6.1e und f). Die Dioden werden von den Anoden- und Gitterspannungen abwechselnd so geöffnet, daß der Impuls zwangsläufig nur zum Gitter der leitenden Triode geführt wird.

Aus den Abb. 6.1 gehen außerdem die wichtigsten Möglichkeiten zur Erzeugung der negativen Gittervorspannung hervor. Bei den Schaltungen a, d und f wird sie von außen zugeführt. Im Multivibrator b geschieht die Erzeugung durch den kapazitiv überbrückten Kathodenwiderstand. Nach Abb. 6.1c und e kann der Kathodenkondensator auch entfallen. Die entstehende Kopplung der Kathoden unterstützt dabei den Kippvorgang. Es muß aber beachtet werden, daß die Verstärkung der beiden Systeme in diesem Fall geringer wird und zur Erfüllung der Kippbedingungen größere Anodenwiderstände erforderlich sind.

Die einfachste Zählschaltung ergibt sich, wenn eine Anzahl bistabiler Multivibratoren hintereinandergeschaltet wird. In Abb. 6.2a ist die so entstehende Anordnung für vier Stufen schematisch dargestellt. Alle Multivibratoren sprechen auf negative Impulse an. Die Funktion der Schaltung geht aus dem zugehörigen Diagramm hervor. Beim Ausgangszustand „0“ stehen alle vier Stufen so, daß die rechten Systeme leiten. Nach jedem Steuerimpuls wechselt Stufe I ihren Zustand. Stufe II schlägt immer dann um, wenn sie von Stufe I einen negativen Impuls erhält. Wie das Diagramm zeigt, geschieht das dann, wenn das rechte System der ersten Stufe geöffnet wird, also bei jedem zweiten Eingangsimpuls. Dem gleichen Mechanismus folgend schlagen die Stufen III und IV nach jedem vierten und nach jedem achten Steuerimpuls um. Insgesamt entstehen so 16 verschiedene Kom-

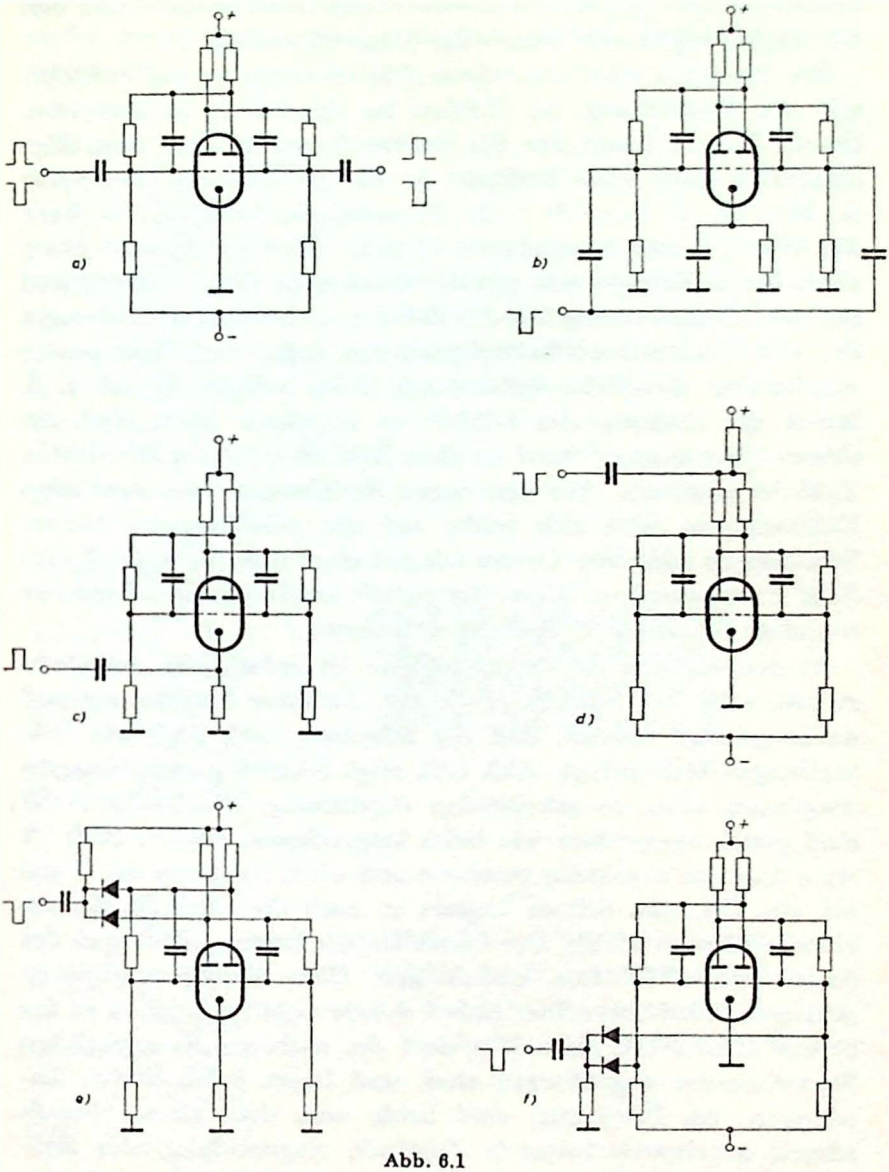


Abb. 6.1

binationen der gegenseitigen Multivibratorstellungen. Nach dem 16. Impuls ergibt sich wieder der Ausgangszustand „0“.

Die Funktion einer derartigen Zählschaltung ist eng verknüpft mit der Darstellung der Zahlen im dyadischen Zahlensystem. Dieses System kennt nur die Ziffern 0 und 1. Eine vierstellige dyadische Zahl abcd bedeutet in der dekadischen Übersetzung $a \cdot 2^3 + b \cdot 2^2 + c \cdot 2^1 + d \cdot 2^0$, wobei die Buchstaben a—d nur die Werte 0 und 1 annehmen können. Wird die Rechts-Leitung eines Multivibrators nun mit der dyadischen Ziffer 0 identifiziert und die Links-Leitung mit der Ziffer 1, so drücken die Stellungen der vier Stufen des Schaltbeispiels von rechts nach links gelesen unmittelbar dyadische Zahlen aus. Beim zehnten Impuls z. B. lautet die Stellung des Zählers so abgelesen 1010. Nach der obigen Übersetzungsformel ist diese Zahl aber mit der dekadischen Zahl 10 identisch. Aus den engen Beziehungen zum dyadischen Zahlensystem läßt sich leicht auf die Zählkapazität binärer Schaltungen schließen. Genau wie mit einer n-stelligen dyadischen Zahl 2^n verschiedene Werte dargestellt werden können, kann eine n-stufige Schaltung 2^n Impulse aufnehmen.

In den meisten Anwendungsfällen ist jedoch eine dekadische Arbeitsweise des Zählers erwünscht. Zu ihrer Realisierung muß dafür gesorgt werden, daß die Schaltung nach Abb. 6.2a sechs Stellungen überspringt. Abb. 6.2b zeigt Schaltung und Zustandsdiagramm einer so arbeitenden Anordnung. Die Stufen I—III sind gleich angeordnet wie beim besprochenen Zähler. Stufe IV wird dagegen zweiseitig gesteuert und wirkt rückwärts auf II und III ein. Bis zum dritten Impuls ist auch die Funktion der des ersten Beispiels gleich. Der vierte Impuls bringt jedoch auch den Multivibrator IV zum Umschlagen. Über Verzögerungsglieder gelangen dabei von seiner linken Anode negative Impulse zu den Stufen II und III. Sie treffen dort ein, nachdem die eigentlichen Steuerimpulse abgeklungen sind, und lassen beide Stufen umschlagen. Im Diagramm sind beide nach dem vierten Impuls schnell aufeinanderfolgende Zustände eingezeichnet. Der Endzustand „4“ ist mit dem Zustand „10“ der Schaltung nach 6.2a identisch; es sind also wunschgemäß sechs Stellungen übersprun-

gen worden. Vom fünften Steuerimpuls ab arbeitet die Schaltung wieder normal und erreicht nach dem zehnten Impuls den Ausgangszustand.

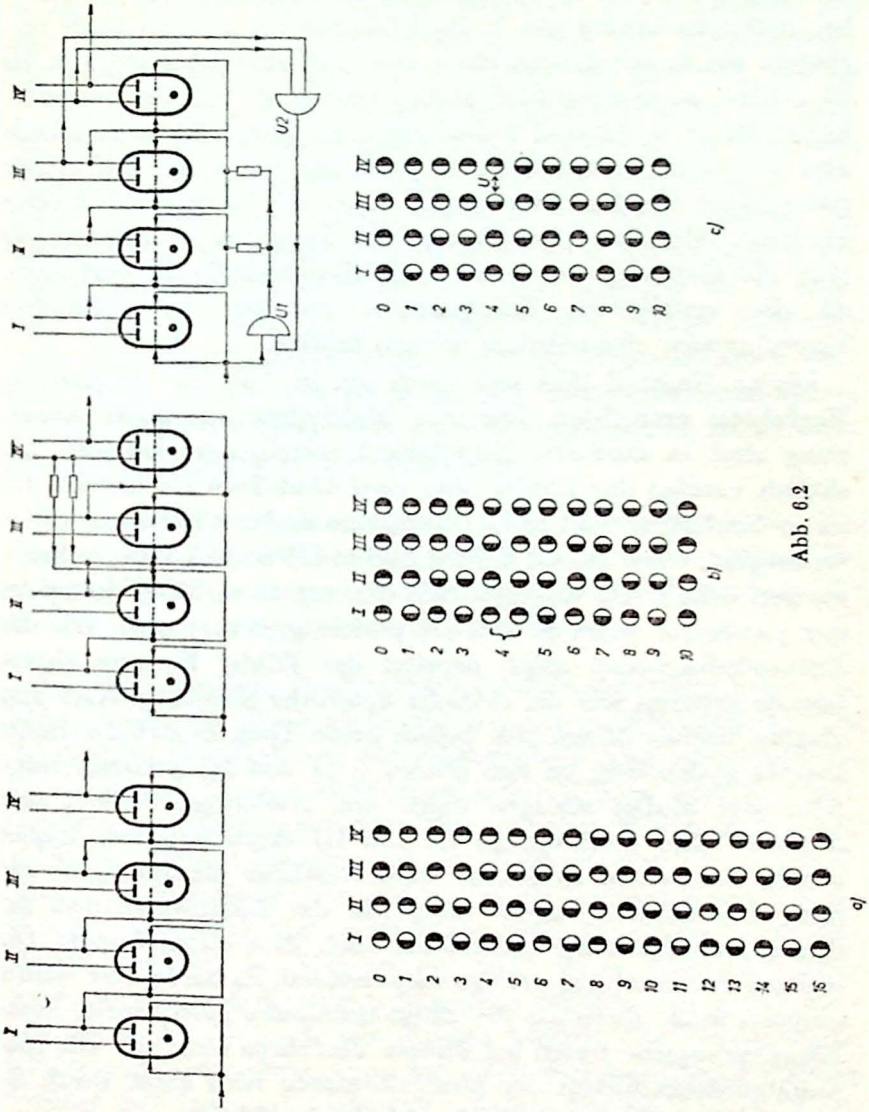


Abb. 6.2

Die Methode der Rückführung von Impulsen der letzten Stufe zu vorausgehenden Stufen gestattet es, mit binären Schaltungen jeden beliebigen Wert der Zählkapazität zu verwirklichen. Rückführung zur ersten Stufe reduziert die Maximalkapazität von 2^n bei n-Stufen immer um 1. Rückführung zur zweiten Stufe verringert um 2, zur dritten um 4 usw. Soll eine Schaltung z. B. bis 23 zählen, so werden fünf Stufen gebraucht. Von der Maximalkapazität $2^5 = 32$ sind 9 Stellungen zu unterdrücken. Es müssen also von der fünften Stufe Impulse zur ersten und zur vierten rückgeführt werden. Schaltungen dieser Art besitzen jedoch einen Nachteil. Mit der Rückführung von Impulsen ist zwangsläufig eine Herabsetzung der höchsten Zählgeschwindigkeit verbunden, da die verzögerten Zusatzimpulse zwischen die eigentlichen Steuerimpulse eingeschoben werden müssen.

Dieser Nachteil läßt sich durch ein in Abb. 6.2c dargestelltes Verfahren vermeiden. Die vier Multivibratoren dieser Anordnung sind in normaler Kopplung hintereinandergeschaltet. Zusätzlich verfügt der Zähler über zwei Und-Tore U1 und U2. U2 ist so beschaffen, daß es nur dann eine positive Spannung an U1 weitergibt, wenn es von beiden Stufen III und IV positive Spannungen erhält. U1 dagegen läßt die negativen Eingangsimpulse nur passieren, wenn es von U2 positiv gesteuert wird. Wie das Zustandsdiagramm zeigt, arbeitet der Zähler bis zum vierten Impuls genauso wie die einfache dyadische Schaltung. Nach dem vierten Impuls öffnen sich jedoch beide Tore, so daß der fünfte Impuls gleichzeitig zu den Stufen I, II und III gelangen kann. Alle drei Stufen schlagen daher um. Außerdem wechselt auch Stufe IV ihre Stellung, da sie von III einen negativen Impuls erhält. Es werden so wieder sechs Zustände übersprungen, und nach dem fünften Impuls entspricht der Zählzustand dem der dyadischen Schaltung (Abb. 6.2a) nach dem elften Impuls. Die weitere Fortschaltung erfolgt dann normal, da beide Tore wieder gesperrt sind. Zwischen die Eingangsimpulse geschachtelte Rückführungsimpulse treten bei diesem Verfahren nicht auf. Die Maximalgeschwindigkeit der Multivibratoren wird daher durch die Reduktion auf zehn Zustände nicht beeinträchtigt.

Ein ausgeführtes Schaltbeispiel für das Verfahren nach Abb. 6.2b ist in Abb. 6.3 wiedergegeben (20). Sein Aufbau entspricht völlig der schematischen Schaltung. Die Kopplung der vier bistabilen Multivibratoren erfolgt über die Kondensatorpaare C7/C8, C13/C14 und C17/C18. Über C9 und C12 werden die von der vierten Stufe kommenden Hilfsimpulse zu den Röhren 2 und 3 geführt. Der Zähler arbeitet am besten mit negativen Eingangsimpulsen von 30 V Amplitude und mindestens 2 μsec Dauer. Es werden so Frequenzen bis zu 150 kHz erreicht. Die Amplitude der Ausgangsimpulse liegt bei 40 V. Dabei beträgt die Anstiegszeit in negativer Richtung 1 μsec, während sie in positiver Richtung 4 μsec groß ist. Eine weitere gleiche Zählstufe kann daher ohne Zwischenglieder direkt an A angeschlossen werden. Wegen der Differentiation an den Eingangskondensatoren C3 und C4 übt die langsamere positive Impulsflanke keine Wirkung auf die nachgeschaltete Dekade aus.

Zur Einstellung des Ausgangszustandes „0" muß kurzzeitig der Tastkontakt RT geöffnet werden. Dadurch erhalten die Gitter der rechten Röhrensysteme eine positive Spannung und versetzen die Multivibratoren in rechts-leitende Stellungen.

Beachtung verdient die Schaltung der Glimmlampen L0 — L9. Mit ihnen erfolgt die Anzeige des jeweiligen Zählerstandes. Da die Anzeige dekadisch ist, die Zählzustände aber als dyadische Kombinationen der vier Multivibratoren vorliegen, sind die Lampen über ein transformierendes Netzwerk von Widerständen angeschaltet. Dessen Funktion sei am Beispiel von L5 erläutert. Diese Glimmlampe leuchtet auf, wenn die Leitung b auf hohem Potential liegt, Röl also rechts sperrt, und der Punkt e bei niedrigem Potential ist. Das ist der Fall, wenn Rö3r und Rö4l leiten. Im Zustandsdiagramm tritt diese Stellung nur genau einmal auf, und zwar nach dem fünften Impuls. Die Glimmlampe könnte auch ansprechen, wenn bei allen drei beteiligten Röhren Leitung und Sperrung vertauscht würden. Da die Leitung b an

einem Abgriff des Anodenwiderstandes R4/R6 liegt, kann sie jedoch niemals das erforderliche niedrige Potential annehmen.

Beim Betrieb des Zählers darf die Anodenspannung um nicht mehr als ± 10% schwanken. Es empfiehlt sich deshalb eine Stabilisierung. Temperaturschwankungen sind dagegen unkritisch.

6.3 Dekade mit Impulstoren

Das Zählverfahren nach Abb. 6.2c kommt in der Transistorschaltung Abb. 6.4 zur Anwendung (16, 17). In dieser Schaltung erfolgt die Kopplung der vier Multivibratoren über Transformatoren. Auch die Einspeisung der negativen Impulse geschieht über einen Transformator. Jeder der Multivibratoren schlägt um, wenn die Emitter negativ gesteuert werden. Das geschieht immer dann, wenn in der vorausgehenden Stufe der linke Transistor sperrt. Zur Veranschaulichung der Funktion kann also ohne weiteres das Diagramm Abb. 6.2c benutzt werden.

Der Transistor T9 und die beiden Dioden D2 und D3 erfüllen die Funktion der Tore U1 und U2 in der Prinzipschaltung Abb. 6.2c. Im Normalzustand erhält die Basis des Transistors T9 über die Dioden eine Spannung von —4,5 V. Da sein Emitter auf —8 V gehalten wird, ist er gesperrt. Erst wenn die Transistoren T6 und T7 sperren, wird die Basisspannung soweit negativ, daß die Eingangsimpulse T9 öffnen können. Dieser Zustand tritt nach dem vierten Steuerimpuls auf. Der fünfte Impuls kann daher nicht nur den ersten Multivibrator beeinflussen, sondern er bringt über Tr5 auch den zweiten und dritten Multivibrator zum Umschlagen. Dabei sperrt T9 wieder und der Zählmechanismus läuft gemäß dem Zustandsdiagramm weiter.

Zur Anzeige des Zählstandes wird bei dieser Schaltung das Meßinstrument I benutzt. Es ist über die Widerstände R7, R16, R25 und R 34 so an die Multivibratoren geschaltet, daß sich sein Zeiger von Zählschritt zu Zählschritt um gleiche Beträge über die Skala bewegt.

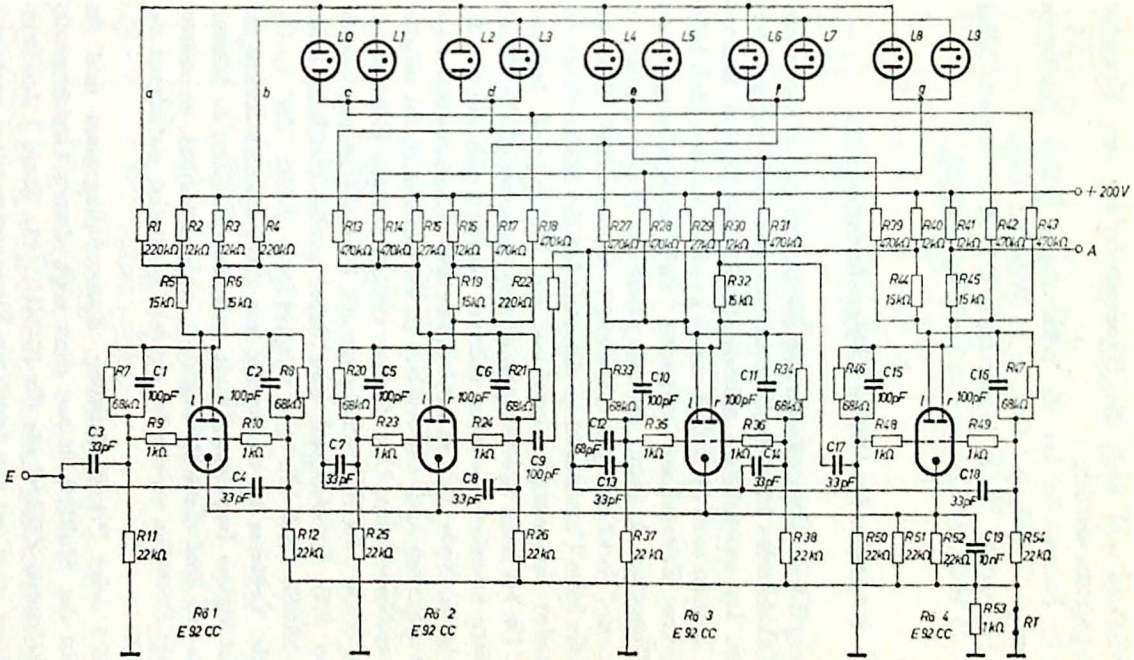

L0
L1
L2
L3
L4
L5
L6
L7
L8
L9
a
b
c
d
e
f
g
+200V
A
E
RT
R1 220kΩ
R2 12kΩ
R3 12kΩ
R4 220kΩ
R5 15kΩ
R6 15kΩ
R7 68kΩ
C1 100pF
C2
R8 68kΩ
R9 1kΩ
R10 1kΩ
C3 33pF
C4 33pF
R11 22kΩ
R12 22kΩ
Rö 1
E 92 CC
R13 470kΩ
R14 470kΩ
R15 27kΩ
R16 12kΩ
R17 470kΩ
R18 470kΩ
R19 15kΩ
R22 220kΩ
R20 68kΩ
C5 100pF
C6
R21 68kΩ
R23 1kΩ
R24 1kΩ
C7 33pF
C8 33pF
C9 100pF
R25 22kΩ
R26 22kΩ
Rö 2
E 92 CC
R27 470kΩ
R28 470kΩ
R29 470kΩ
R30 12kΩ
R31 470kΩ
R32 15kΩ
R33 68kΩ
C10 100pF
C11
R34 68kΩ
C12 68pF
C13 33pF
R35 1kΩ
R36 1kΩ
C14 33pF
R37 22kΩ
R38 22kΩ
Rö 3
E 92 CC
R39 470kΩ
R40 12kΩ
R41 12kΩ
R42 470kΩ
R43 470kΩ
R44 15kΩ
R45 15kΩ
R46 68kΩ
C15 100pF
C16
R47 68kΩ
C17 33pF
R48 1kΩ
R49 1kΩ
C18 33pF
R50 22kΩ
R51 22kΩ
R52 22kΩ
C19 10nF
R54 22kΩ
R53 1kΩ
Rö 4
E 92 CC

Abb. 6.3

Abschließend soll noch die Dimensionierung der Transformatoren gegeben werden:

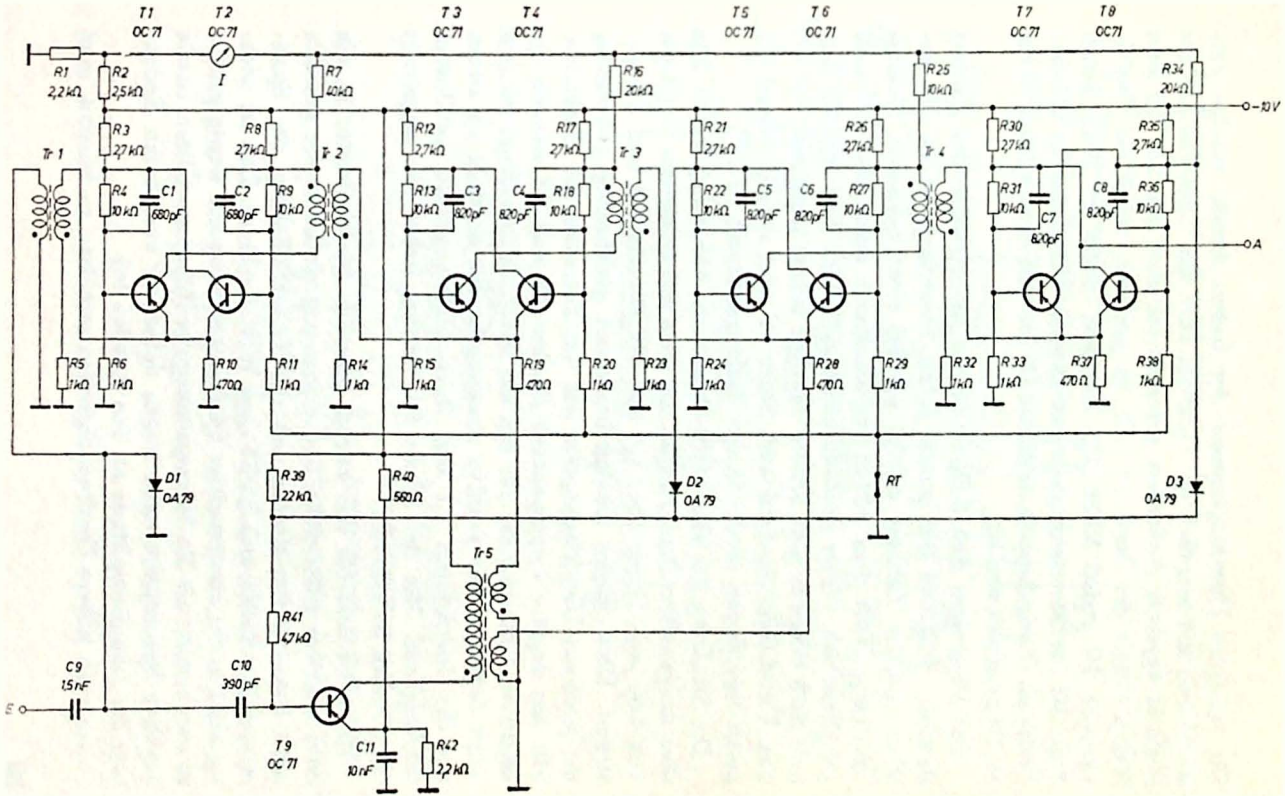
Tr1—4: Ferroxcube III B, Schalenkern D14/8, Luftspalt: Minimum, p: 75 Wdg. 0,1 CuL, s: 75 Wdg. 0,1 CuL.

Tr5: Ferroxcube III B, Schalenkern D14/8, Luftspalt: Minimum, p: 75 Wdg. 0,1 CuL, s: 2×100 Wdg. 0,1 CuL.

6.4 Stufen für höchste Zählgeschwindigkeiten

Bei sorgfältiger Dimensionierung lassen sich mit binären Einheiten Zähldekaden für Impulsfrequenzen von 10 MHz und mehr aufbauen. Im wesentlichen müssen dabei drei Punkte beachtet werden. Erstens muß die Schaltung so gewählt werden, daß keine prinzipiellen Zeitverluste auftreten. Dekadenschaltungen mit Rückstellimpulsen kommen deshalb nicht in Frage, sondern es können nur Torschaltungen verwendet werden (21). Zweitens müssen die beim Umschlagen an den Anoden der Multivibratoren auftretenden Spannungssprünge auf ein Mindestmaß begrenzt werden. Da bei jeder Spannungsänderung unvermeidliche Schaltkapazitäten umgeladen werden müssen, verkürzt sich die für den Umschlag benötigte Zeit mit Abnahme des Spannungssprunges. Selbstverständlich muß der Aufbau so kapazitätsarm als möglich vorgenommen werden. Und drittens endlich müssen Röhren ausgewählt werden, die für derartig schnelle Multivibratoren brauchbar sind (22). Entscheidend sind dabei große Steilheit, hohes S/C-Verhältnis und ein gut ausgeprägter Knick der I_a–U_g-Kennlinie. Letzteres ist notwendig, um die gesperrte Röhre mit möglichst kleiner Impulsamplitude weitgehend öffnen zu können. Mit Trioden sind diese Bedingungen nicht erfüllbar, es müssen unbedingt Pentoden verwendet werden. Besonders gut eignet sich die 6AH6.

Abb. 6.5 zeigt Prinzipschaltung, Zustandsdiagramm und das Schaltbild der Multivibratoren einer nach diesen Gesichtspunkten aufgebauten Zähldekade für 10 MHz (23). Stufe I der Prinzipschaltung wird mit den negativen Eingangsimpulsen gesteuert.


T1 OC 71
T2 OC 71
T3 OC 71
T4 OC 71
T5 OC 71
T6 OC 71
T7 OC 71
T8 OC 71
T9 OC 71
R1 2,2kΩ
R2 2,5kΩ
R3 2,7kΩ
R4 10kΩ
C1 680pF
R5 1kΩ
R6 1kΩ
R7 40kΩ
R8 2,7kΩ
C2 680pF
R9 10kΩ
R10 470Ω
R11 1kΩ
R12 2,7kΩ
R13 10kΩ
C3 820pF
R14 1kΩ
R15 1kΩ
R16 20kΩ
R17 2,7kΩ
C4 820pF
R18 10kΩ
R19 470Ω
R20 1kΩ
R21 2,7kΩ
R22 10kΩ
C5 820pF
R23 1kΩ
R24 1kΩ
R25 10kΩ
R26 2,7kΩ
C6 820pF
R27 10kΩ
R28 470Ω
R29 1kΩ
R30 2,7kΩ
R31 10kΩ
C7 820pF
R32 1kΩ
R33 1kΩ
R34 20kΩ
R35 2,7kΩ
C8 820pF
R36 10kΩ
R37 470Ω
R38 1kΩ
Tr 1
Tr 2
Tr 3
Tr 4
Tr 5
D1 OA 79
D2 OA 79
D3 OA 79
R39 22kΩ
R40 560Ω
R41 4,7kΩ
R42 2,2kΩ
C9 1,5nF
C10 390pF
C11 10nF
RT
-10V
A
E

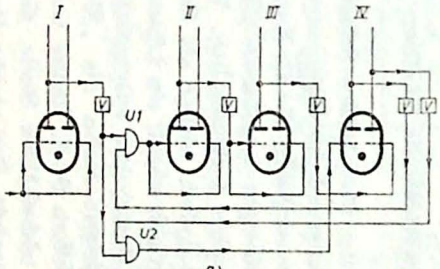
Die positiven Umschlagimpulse der linken Anode werden verstärkt und mit umgekehrter Polarität über das Und-Tor U1 zur Stufe II gegeben. Außerdem gelangen sie über das Tor U2 zum linken Gitter der Stufe IV. U1 ist geöffnet, wenn der Multivibrator IV rechts leitet, U2 dagegen, wenn er links leitet. Stufe III ist über einen phasenwendenden Verstärker in üblicher Weise an II angekoppelt, während IV nur mit dem rechten Gitter an III angeschlossen ist.

Das Diagramm Abb. 6.5b macht die Arbeitsweise des Zählers deutlich. Während der ersten sieben Steuerimpulse ist U1 geöffnet und die Zählung erfolgt wie bei einer normalen binären Schaltung. Nach dem achten Impuls sperrt dann aber U1 und U2 öffnet sich. Dieser Zustand bleibt auch nach dem neunten Impuls noch erhalten. Der zehnte dagegen bringt nicht nur Stufe I zum Umschlagen sondern auch Stufe IV und versetzt damit die ganze Anordnung wieder in den Anfangszustand „0".

Die Schaltung der vier Multivibratoren (Abb. 6.5c) erfüllt alle oben aufgestellten Forderungen. Sie wird mit negativen Impulsen von 0,05 μsec Dauer über C4 und die Dioden D2 und D5 gesteuert. Diese beiden Dioden begrenzen gleichzeitig gitterseitig die positiven Umschlagimpulse auf das Potential der Kathoden. Mit den negativ vorgespannten Dioden D3 und D4 werden die negativen Gitterimpulse auf den zur Sperrung unbedingt nötigen Wert begrenzt. Der positive Ausgangsimpuls entsteht an einem aus der Induktivität L1 und ihrer Eigenkapazität gebildeten Schwingkreis. Mit der Diode D1 werden dabei die negativen Amplituden unterdrückt.

Kennzeichnend für den extrem schnellen Multivibrator ist die hohe negative gitterseitige Speisespannung. Je höher sie gewählt wird, umso weiter dürfen sich die Teilverhältnisse der Spannungsteiler R3/R7 und R4/R8 dem Wert 1 nähern. Das ist wichtig, weil so der anodenseitige Spannungssprung nur wenig größer zu sein braucht als die Sperrspannung der Röhre am Gitter. Große negative Speisespannungen tragen daher zur erwähnten Reduktion der Impulsamplitude an den Anoden bei.

Um noch höhere Geschwindigkeiten erreichen zu können, muß



a)

	I	II	III	IV	U1	U2
0	◑	◑	◑	◑	●	○
1	◐	◑	◑	◑	●	○
2	◑	◐	◑	◑	●	○
3	◐	◐	◑	◑	●	○
4	◑	◑	◐	◑	●	○
5	◐	◑	◐	◑	●	○
6	◑	◐	◐	◑	●	○
7	◐	◐	◐	◑	●	○
8	◑	◑	◑	◐	○	●
9	◐	◑	◑	◐	○	●
10	◑	◑	◑	◑	●	○

b)

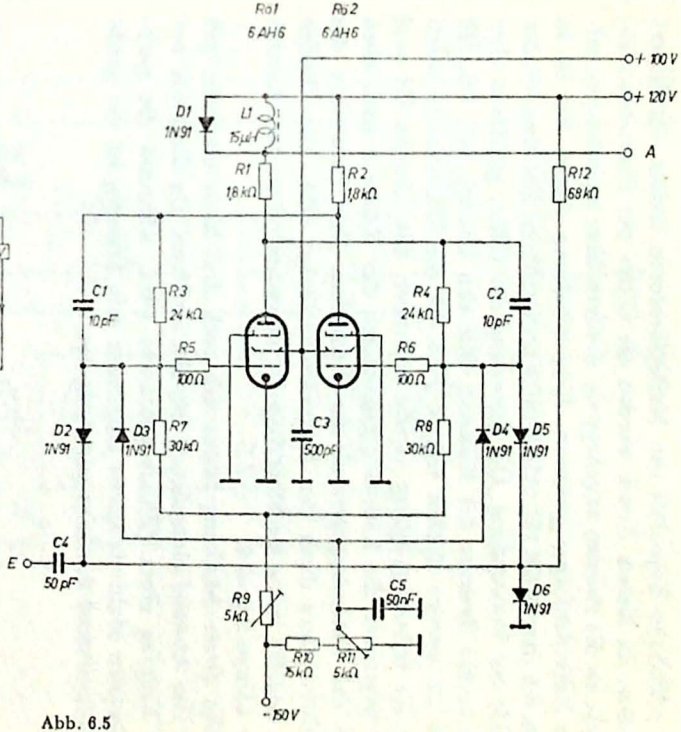


Abb. 6.5

c)

die schädliche Kapazität der Multivibratoren weiter verkleinert werden. Zu diesem Zweck werden die Gitter der Pentoden nicht direkt an die Anoden angekoppelt, sondern über zwischengeschaltete Kathodenfolger gesteuert. Eine Schaltung dieser Art ist in Abb. 6.6 dargestellt (6). Als Multivibratorröhren kommen wieder 6AH6 zur Verwendung. Die Steuerung der Gitter geschieht über die beiden Systeme der Röhre 3. Mit den Dioden D4, D5, D7 und D8 werden ähnlich wie in Abb. 6.5 die Impulsamplituden auf die unbedingt nötige Größe reduziert. Die Dioden D6 und D9 begrenzen die Kathodenspannungen der Röhre 3 nach oben auf das Kathodenpotential der Pentoden. Zur Steuerung des Multivibrators dient der Kathodenverstärker Röl. Die Dioden D2 und D3 leiten die Steuerimpulse abwechselnd zu den Anoden der Röhren 2 und 4.

Mit dieser Schaltung lassen sich noch drei hintereinander mit 60 nsec Abstand eintreffende Impulse auflösen. Da die Stufe nur im Eingang eines Zählers gebraucht wird, während die nachfolgenden Multivibratoren langsamer sein können, ist der große Schaltaufwand durchaus gerechtfertigt.

6.5 Vor- und rückwärtszählende Schaltung

Zum Abschluß des Abschnittes über binäre Schaltungen soll nun auf die Frage der Richtungsumkehr eingegangen werden. Auf den ersten Blick erscheint es schwierig, die als Kombinationen verschiedener Multivibratorstellungen gegebenen Zählzustände wahlweise vorwärts oder rückwärts fortzuschalten. Werden die Zustände der Multivibratoren jedoch wieder als Stellen einer dyadischen Zahl gedeutet, zeigt sich schnell ein Lösungsweg.

Es wird vom dekadischen Zahlensystem ausgegangen. Bei der Addition durchläuft die niedrigste Stelle, die „Einer-Stelle", nacheinander periodisch die Ziffern 0—9. Immer wenn sie von 9 nach 0 übergeht, wird die nächsthöhere Stelle, die „Zehner-Stelle", um eine Ziffer weitergerückt. Der gleiche Vorgang wiederholt sich bei höheren Stellen. Wird subtrahiert, so wird die

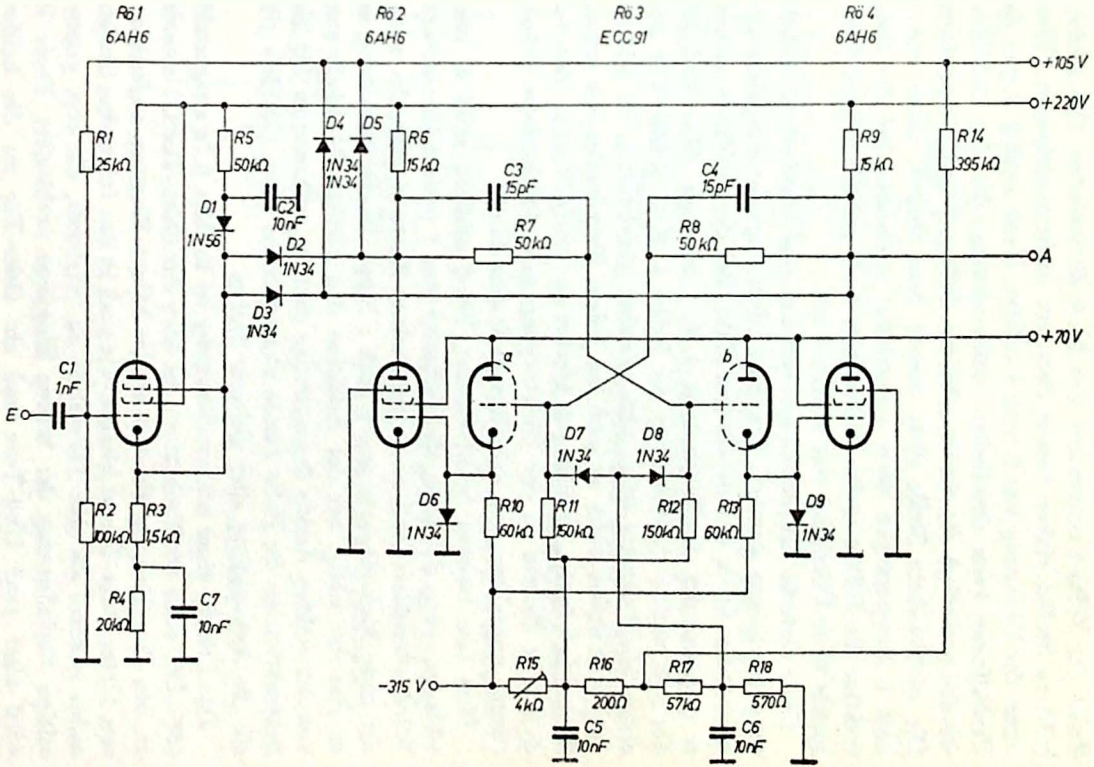

Rö 1
6AH6
Rö 2
6AH6
Rö 3
ECC91
Rö 4
6AH6
+105 V
+220V
+70V
A
E
-315 V
R1
25kΩ
R5
50kΩ
D4
1N34
D5
1N34
R6
15kΩ
C3
15pF
C4
15pF
R9
15kΩ
R14
395kΩ
D1
1N56
C2
10nF
D2
1N34
R7
50kΩ
R8
50kΩ
D3
1N34
C1
1nF
a
b
D7
1N34
D8
1N34
D6
1N34
R10
60kΩ
R11
150kΩ
R12
150kΩ
R13
60kΩ
D9
1N34
R2
100kΩ
R3
1,5kΩ
R4
20kΩ
C7
10nF
R15
4kΩ
R16
200Ω
R17
57kΩ
R18
570Ω
C5
10nF
C6
10nF

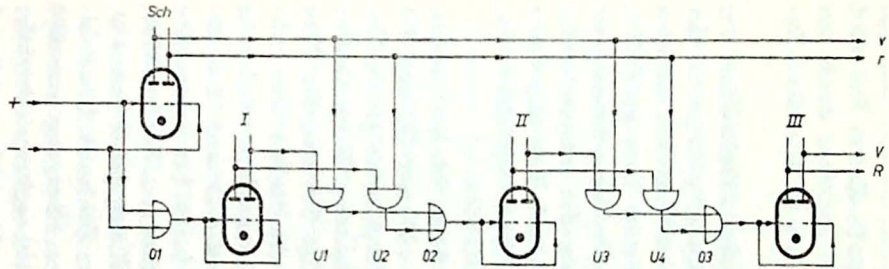
Abb. 6.6

Reihe der Ziffern umgekehrt von 9—0 durchlaufen. Die nächsthöheren Stellen rücken immer dann zur nächstniedrigeren Ziffer, wenn der Übergang von 0 nach 9 erfolgt. Ganz analog liegen die Verhältnisse beim dyadischen Zahlensystem. Bei der Addition werden periodisch die einzigen beiden Ziffern 0 und 1 erscheinen. Die nächsthöhere Stelle rückt immer dann weiter, wenn von 1 nach 0 übergegangen wird. Umgekehrt erscheinen bei der Subtraktion die Ziffern in der Reihenfolge 1—0 und die höhere Stelle spricht beim Übergang von 0 nach 1 an.

Diese einfache Erkenntnis soll nun auf eine Multivibratorschaltung übertragen werden. Der erste Multivibrator entspricht der niedrigsten Stelle der dyadischen Zahl. Bei der Addition nimmt er nacheinander die Zustände 0, 1, 0, 1 usw. an. Aber auch bei der Subtraktion durchläuft er die Reihe 1, 0, 1, 0 usw. Für den ersten Multivibrator ist es also offenbar gleichgültig, ob addiert oder subtrahiert wird; er muß bei jedem Eingangsimpuls seinen Zustand wechseln. Es zeigt sich hierbei der große Vorteil, den das dyadische System in der Übertragung auf elektronische Schaltungen gegenüber dem dekadischen System besitzt.

Nun zum zweiten Multivibrator. Wird addiert, muß er umschlagen, wenn der erste Multivibrator von 1 nach 0 überspringt. Wird subtrahiert, muß er dagegen seinen Zustand wechseln, wenn der erste Multivibrator von 0 nach 1 kippt. In der Schaltung ist es also nur nötig, bei der Addition den zweiten Multivibrator von der rechten Anode des ersten zu steuern, während er für die Subtraktion an die linke Anode angeschlossen wird. Gleiches gilt für die Ankopplung aller weiterer Stufen.

Das Prinzip einer solchen Schaltung ist in Abb. 6.7a dargestellt (24). Der erste Multivibrator I ist über das Oder-Tor O1 sowohl an den Plus-Eingang als auch an den Minus-Eingang angeschlossen. Unter Oder-Tor ist hierbei, wie auch in den folgenden Stufen, nichts anderes als eine Trennstufe zu verstehen, die eine gegenseitige Beeinflussung der beiden Eingänge verhindert. Stufe II wird über zwei Und-Tore und ein Oder-Tor an die beiden Anoden der Stufe I angekoppelt. In gleicher Weise sind alle weiteren Stufen angeschaltet. Von der Schaltstufe Sch, einem zu-



a)

	Eingang	Sch	U1/3	U2/4	I	II	III	bin. Zahl	dek. Zahl
0		◑	●	○	◑	◑	◑	000	0
1	+	◑	●	○	◐	◑	◑	001	1
2	+	◑	●	○	◑	◐	◑	010	2
3	+	◑	●	○	◐	◐	◑	011	3
4	+	◑	●	○	◑	◑	◐	100	4
5	−	◐	○	●	◐	◐	◑	011	3
6	−	◐	○	●	◑	◐	◑	010	2
7	−	◐	○	●	◐	◑	◑	001	1
8	+	◑	●	○	◑	◐	◑	010	2
9	−	◐	○	●	◐	◑	◑	001	1
10	−	◐	○	●	◑	◑	◑	000	0
11	−	◐	○	●	◐	◐	◐	111	7
12	−	◐	○	●	◑	◐	◐	110	6

b)

Abb. 6.7

sätzlichen bistabilen Multivibrator, werden die Und-Tore über die Leitungen v und r gegensinnig gesteuert. Ist v hoch positiv, sind die Tore U1 und U3 offen und der Zähler addiert. Dagegen sind U2 und U4 geöffnet, wenn r positiv ist. In diesem Fall wird subtrahiert. Die Betätigung der Schaltstufe geschieht durch den Eingangsimpuls. Additionsimpulse bringen sie in den einen Zustand, Subtraktionsimpulse in den anderen.

Im Zustandsdiagramm Abb. 6.7b ist die Arbeitsweise der Schaltung veranschaulicht. Die Spalte „Eingang" gibt an, ob der eintreffende Impuls an + oder — erscheint. Aus den nächsten sechs Spalten ist die Stellung der Stufen und Tore ersichtlich. Schwarz ausgefüllte Halbkreise oder Kreise bedeuten Leitung des entsprechenden Röhrensystems oder Öffnung des entsprechenden Tores. Unter „bin. Zahl" ist der von rechts nach links abgelesene Zählerstand dyadisch angegeben. Die letzte Spalte schließlich enthält die dekadische Übersetzung des Zählerstandes.

Die ersten vier Impulse werden addiert. Stufe Sch leitet rechts, und die Tore U1 und U3 sind geöffnet, während U2 und U4 gesperrt sind. Die Multivibratoren I—III durchlaufen gleiche Zustände wie in einer normalen binären Schaltung. Beim fünften Impuls, der subtrahiert werden soll, schlägt Sch um, die Tore vertauschen ihre Zustände, und die drei Multivibratoren subtrahieren wunschgemäß. Nach dem zehnten Impuls ist wieder die Stellung „0" erreicht. Die Subtraktionsimpulse 11 und 12 erzeugen die dekadischen Zahlen 7 und 6. Das heißt, bei Subtraktion unter 0 zeigt der Zähler die durch Subtraktion vom Zählerhöchststand 8 entstehenden Zahlen an. Er verhält sich damit genau so, wie z. B. ein dekadisches elektromechanisches Zählwerk. Um Fehlablesungen zu vermeiden, kann durch den Übergang von 000 nach 111 über eine Koinzidenzschaltung ein weiterer bistabiler Multivibrator angestoßen werden, der das Vorzeichen „Minus" ausdrückt. Durch den umgekehrten Übergang 111—000 wird er wieder in die andere Stellung gebracht und zeigt „Plus" an.

7. Ternäre Zählschaltungen

Der Vollständigkeit halber soll auch auf ternäre Zählschaltungen eingegangen werden, obwohl diese bisher wenig Bedeutung erlangt haben. Wie die binären Zähler eng mit dem dyadischen Zahlensystem verknüpft sind, haben die ternären Kreise enge Verbindung mit einem Zahlensystem, das sich aus nur drei Ziffern aufbaut. Dieses ternäre System verfügt nur über die Ziffern 0, 1 und 2. Eine ternäre Zahl abcd hat in der dekadischen Übersetzung den Wert $a \cdot 3^3 + b \cdot 3^2 + c \cdot 3^1 + d \cdot 3^0$. Grundelement einer Zählschaltung muß daher eine Stufe sein, die drei diskrete Zustände annehmen kann. Stillschweigende Voraussetzung ist dabei, daß sie genau so einfach gebaut ist, wie das binäre Grundelement, der bistabile Multivibrator. Ein dreistelliger Zählring oder zwei Multivibratoren mit Rückstellung verdienen keinesfalls die Bezeichnung „ternär".

Durch einen Kunstgriff läßt sich der bistabile Multivibrator so abwandeln, daß er drei stabile Lagen einnehmen kann. Zu den beiden normalen Stellungen, Leitung einer Röhre und Leitung der anderen Röhre, tritt als dritte die gleichzeitige Leitung beider Röhren. Abb. 7.1 zeigt eine der wenigen bisher bekanntgewordenen Schaltungen dieser Art (25). Sie arbeitet mit negativen Eingangsimpulsen von 1 μsec Dauer und 85—150 V Amplitude; ihre Grenzfrequenz liegt bei 175 kHz. Da zwei gleichartige Stufen hintereinandergeschaltet sind, beträgt die gesamte Zählkapazität 9.

Die Funktion der Schaltung soll an Röhre 1 demonstriert werden. Als Anfangszustand „0" sei angenommen, daß Röla voll leitet, während Rölb gesperrt ist. Die Diode Rö3a ist gesperrt, Rö3b ist geöffnet, so daß der Kathodenwiderstand von Röla durch Parallelschaltung von R8 und R9 zu R7 verringert ist. Ein

an E erscheinender negativer Impuls hebt die Sperrung der Röhre 1b auf, und die Stufe beginnt umzuschlagen. Sowie während des Kippvorganges beide Triodensysteme etwa gleiche Anodenströme führen, werden beide Dioden gesperrt. Die Kathodenwiderstände werden daher mit voller Größe als Gegenkopplungen wirksam, und die Verstärkung beider Trioden sinkt bis zu einem Wert ab, der die Kippbedingung nicht mehr erfüllt. Auf diese Art wird der Kippvorgang blockiert, und beide Röhren verharren stabil bei mittleren Anodenströmen. Damit ist Zustand „1" erreicht.

Ein zweiter Zählimpuls vergrößert den Strom durch Rö1b so weit, daß sich die Diode Rö3a öffnen kann. Dadurch verschwindet die Gegenkopplung wieder, und die Stufe kann weiter kippen, bis Rö1a gesperrt ist und Rö2b maximalen Anodenstrom führt. Damit ist der Zustand „2" erreicht.

Der dritte Zählimpuls steuert die Triode b in den Gitterstrombereich. Über die Gitter-Kathoden-Strecke laden sich die Kondensatoren C2 und C4 während der Impulsdauer weit negativ auf. Diese Aufladung bleibt, auch nachdem der Impuls abgeklungen ist, noch für kurze Zeit bestehen; nach dem Steuerimpuls ist also das Gitter kurzzeitig stark negativ gegenüber der Kathode. Rö1b sperrt deshalb völlig, und die Stufe fällt bis zum Zustand „0" zurück. Der dabei an der Anode der Triode Rö1a entstehende negative Impuls steuert die zweite Stufe Rö2.

8. Dekatron-Zählschaltungen

8.1 Wirkungsweise des Dekatrons

Als erste Gruppe der speziellen Zählröhren sollen die meist als „Dekatrons" bezeichneten Typen besprochen werden (26, 27, 28, 29). Das sind gasgefüllte Röhren mit einer Anode und einer

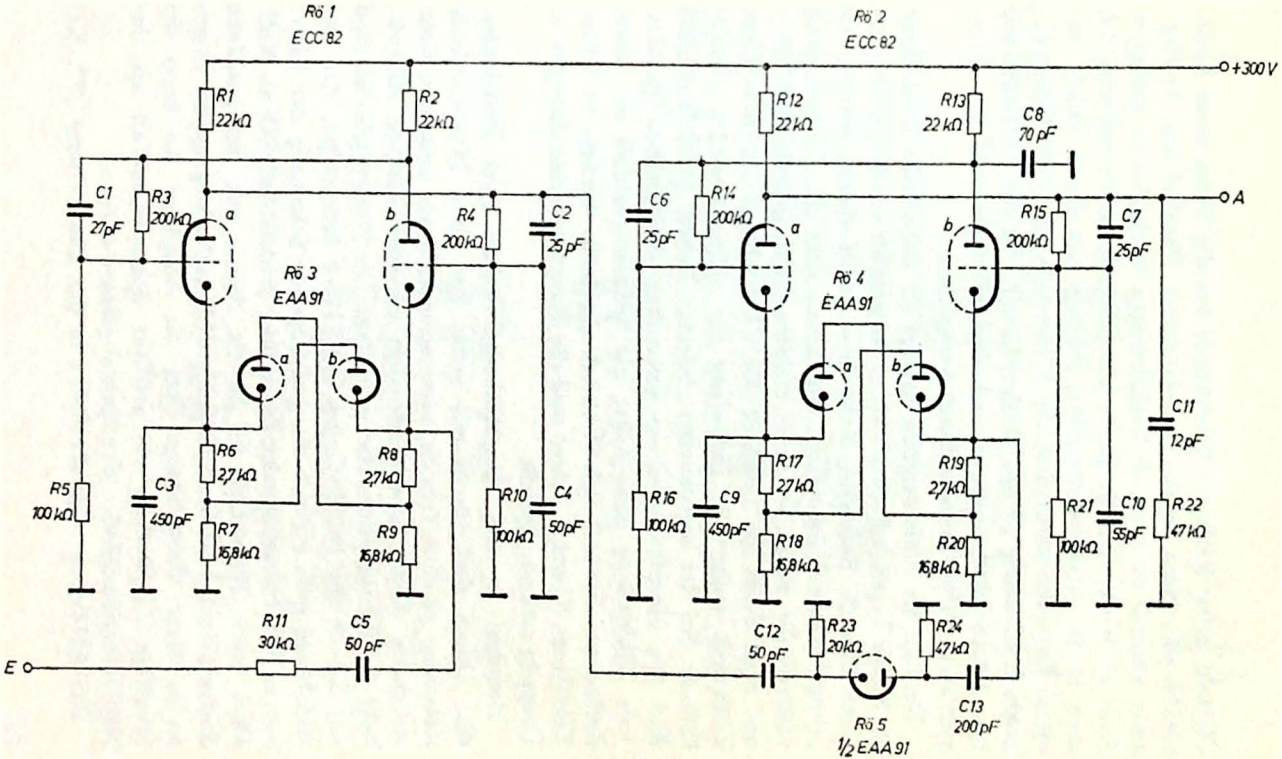

Rö 1
ECC 82
Rö 2
ECC 82
+300 V
R1
22kΩ
R2
22kΩ
R12
22kΩ
R13
22kΩ
C8
70 pF
C1
27pF
R3
200kΩ
R4
200kΩ
C2
25 pF
C6
25pF
R14
200kΩ
R15
200kΩ
C7
25pF
A
Rö 3
EAA 91
Rö 4
EAA 91
C11
12pF
R6
2,7kΩ
R8
2,7kΩ
R5
100kΩ
C3
450pF
R7
15,8kΩ
R9
15,8kΩ
R10
100kΩ
C4
50pF
R16
100kΩ
C9
450pF
R17
2,7kΩ
R18
15,8kΩ
R19
2,7kΩ
R20
15,8kΩ
R21
100kΩ
C10
55pF
R22
47kΩ
R11
30kΩ
C5
50pF
E
C12
50pF
R23
20kΩ
R24
47kΩ
C13
200pF
Rö 5
1/2 EAA 91

Abb. 7.1

Vielzahl kalter Kathoden. Die Anode hat die Form einer Kreisscheibe oder eines kurzen Kreiszylinders. Parallel zur Anodenachse stehend, umgeben die stabförmigen Kathoden in geringem Abstand die Anode. Die Enden der Kathodenstäbe befinden sich etwa in der Anodenebene. Dem Aufbau aus einer Anode und vielen Kathoden verdanken die Röhren die ebenfalls häufig benutzte Bezeichnung „Polykathodenröhren". Da die Kathoden um ihre Achsen rotationssymmetrisch sind, wird genauer von „symmetrischen Polykathodenröhren" gesprochen.

Die Zahl der Kathodenstäbe beträgt für dekadische Zählröhren 30. Einige Typen, mit denen bis zwölf gezählt werden kann, verfügen über 36 Kathoden. Zehn bzw. zwölf davon werden als „Hauptkathoden" bezeichnet. Auf ihnen ruht die Gasentladung während der zehn oder zwölf stabilen Zählzustände der Röhre und zeigt durch ihr Leuchten die Zählstellung an. Bei jedem Zählschritt springt die Entladung zur nächstfolgenden Hauptkathode. Bei den sogenannten „Selector Tubes" (Wählerröhren) sind alle Hauptkathoden zu getrennten Sockelstiften geführt. Jede Zählstellung kann daher als Spannungsabfall an einem Kathodenwiderstand auch elektrisch abgelesen werden. In reinen Zählröhren (Counter Tubes) sind die Hauptkathoden dagegen zu Gruppen zusammengefaßt.

Zwischen je zwei Hauptkathoden stehen zwei Hilfskathoden. Davon sind sowohl alle rechts von einer Hauptkathode stehenden zu einer Gruppe zusammengefaßt als auch alle links stehenden. Abb. 8.1a veranschaulicht an einer linearen Abwicklung des Röhrensystems diesen Aufbau. Die Hauptkathoden sind mit K0—9, die Hilfskathoden mit H1—2 beschriftet. Aus der Abbildung geht zugleich die grundlegende Schaltung der Röhre hervor. Die Hauptkathoden liegen über Widerstände Rk an Null. Über einen Widerstand R3 ist die Anode mit der positiven Speisespannung verbunden. Beide Hilfskathodengruppen liegen an positiver Vorspannung. Über die Ausgänge An kann die jeweilige Zählstellung als positiver Spannungsabfall an den Kathodenwiderständen elektrisch abgelesen werden.

Die Abbildung zeigt die Röhre in der Zählstellung „2". Ka-

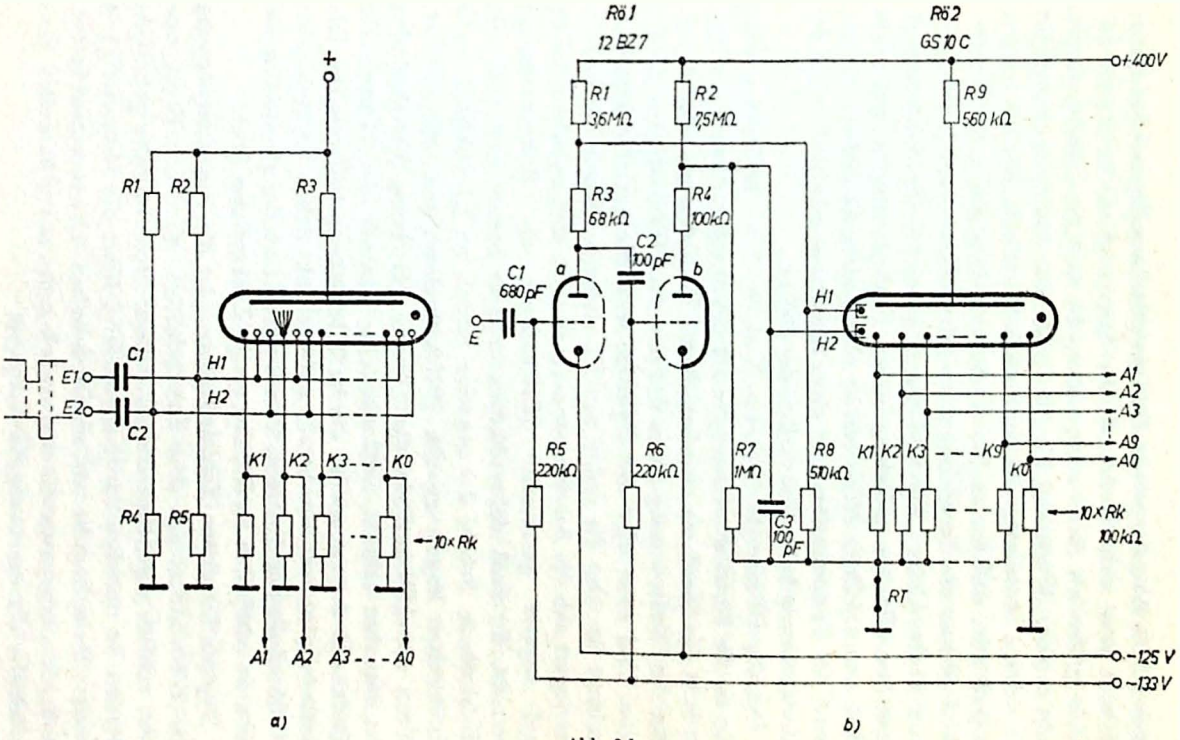

+
R1
R2
R3
C1
E1
E2
C2
H1
H2
K1
K2
K3
K0
R4
R5
10×Rk
A1
A2
A3
A0
a)
Rö1
12 BZ7
Rö2
GS 10 C
+400V
R1
3,6MΩ
R2
7,5MΩ
R9
560 kΩ
R3
68 kΩ
R4
100kΩ
C2
100pF
C1
680pF
a
b
E
H1
H2
A1
A2
A3
A9
A0
R5
220kΩ
R6
220kΩ
R7
1MΩ
R8
510kΩ
K1
K2
K3
K9
K0
C3
100
pF
10×Rk
100kΩ
RT
-125 V
-133 V
b)

Abb. 8.1

thode K2 ist Ausgangspunkt der Gasentladung. Irgendeine zweite Kathode kann nicht zünden, da die Spannung an der Anode nur wenig größer als die Brennspannung ist und die Zündspannung nicht erreicht. Wesentlich für die Größe der Anodenspannung ist die richtige Bemessung der Kathodenwiderstände. Sie dürfen nur so groß sein, daß der an ihnen entstehende positive Spannungsabfall kleiner als die Differenz zwischen Zünd- und Brennspannung bleibt. Unter „Zündspannung" ist dabei die Spannung zu verstehen, die zur Zündung einer Kathodenstrecke gebraucht wird, wenn in ihrer Nähe bereits eine andere Entladung brennt. Durch die Vorionisation liegt diese Spannung erheblich unter der Zündspannung beim Einschalten der Röhre.

Um die Glimmentladung zur Kathode 3 zu befördern, wird nun an die Hilfskathodengruppe H1 ein negativer Impuls gelegt. Er hebt die Spannung zwischen diesen Kathoden und der Anode über die Zündspannung an, so daß eine der Hilfskathoden zünden kann. Und zwar wird das diejenige sein, die am stärksten vorionisiert ist; also die rechts von K2 stehende. Sowie sie brennt, verringert sich die Anodenspannung so weit, daß zwischen Anode und negativ gesteuerter Hilfskathode die Brennspannung herrscht. K2 muß daher löschen, und es brennt nur noch die Hilfskathode. Sobald der negative Impuls an E1 abklingt, wird ein zweiter Impuls an die Hilfskathodengruppe H2 geführt. Wenn die Hilfskathode der Gruppe H1 beim Verschwinden des Impulses erlöscht, muß also eine Kathode der Gruppe H2 zünden. Und zwar wieder die in Zählrichtung benachbarte. Die Entladung ist jetzt also bereits auf der links neben K3 stehenden Hilfskathode angekommen. Verschwindet auch der zweite Impuls, geht sie schließlich zu K3, der neuen Zählstellung über.

Typisch für diesen Zählmechanismus ist die Zusammensetzung des Zählschrittes aus drei Einzelschritten, zu deren Erzeugung zwei zeitlich gegeneinander verschobene Steuerimpulse gebraucht werden. In manchen Anwendungsfällen führt die Notwendigkeit zweier Steuerimpulse zu schalttechnischen Unbequemlichkeiten. Außerdem begrenzen die drei nacheinander auszuführenden Einzelschritte die maximale Zählfrequenz.

Bei den meisten käuflichen Röhren liegt die Grenzfrequenz bei etwa 4 kHz. Einige Typen erreichen ca. 20 kHz. Andererseits besitzt die Steuerung mit Doppelimpulsen einen großen Vorteil: Die Zählrichtung läßt sich sehr leicht durch Vertauschung der zeitlichen Reihenfolge der beiden Impulse umkehren.

Eine einfache Schaltung für die Selector-Röhre GS10C (Etelco) ist in Abb. 8.1b dargestellt (30). Das Triodensystem Rö1a wird mit positiven Impulsen gesteuert. An die Anode dieser Röhre ist die Hilfskathodengruppe H1 angeschlossen. Die Dauer des Impulses an H1 wird durch die Zeitkonstante C1/R5 begrenzt. Über das Differenzierglied C2/R6 steuert die Hinterflanke das Triodensystem Rö1b. An dessen Anode und damit an H2 entsteht so ein negativer Impuls, der die gewünschte Verschiebung gegen den Impuls an H1 aufweist. Durch Öffnen der Rückstelltaste RT kann von jeder beliebigen Zählstellung aus die Stellung „0" erzeugt werden. RT trennt die Kathoden K1–K9 von Null, so daß nur noch K0 Strom zu führen vermag.

8.2 Treiberstufen mit Trioden und Relaisröhren

Wenn die Grenzfrequenz des Dekatrons nicht ausgenützt werden soll, läßt sich die Erzeugung des Doppelimpulses mit recht einfachen Schaltungen bewältigen. Abb. 8.2 gibt dazu einige Anregungen (31). Die erste Zählstufe Rö2 braucht zur Steuerung nur eine einzige Triode Rö1. Über E werden dieser positive Impulse von etwa 20 V Höhe mit maximal 1 kHz Folgefrequenz zugeführt. Die Hilfskathodengruppe H1 wird mit dem unverzerrten Anodenimpuls gesteuert, während die Gruppe H2 einen am Kondensator C3 leicht integrierten Impuls erhält. Die Zeitkonstante R4/C3 ist so bemessen, daß die maximale Aufladung von C3 zeitlich mit der Hinterflanke des Steuerimpulses zusammentrifft. Es entsteht so auf einfache Weise die erforderliche Verschiebung.

Als Zählröhre ist ein Typ mit zusammengefaßten Hauptkathoden eingesetzt. Die Kathoden 1—9 liegen an einem Sockelanschluß,

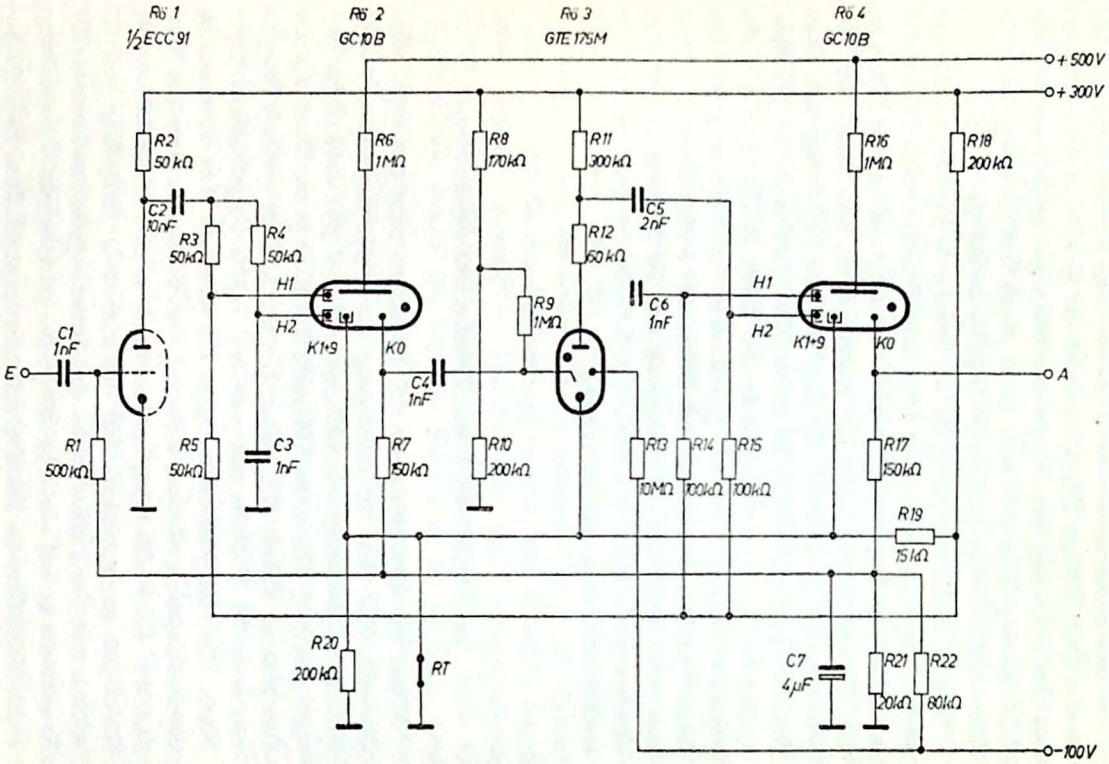

Rö 1
½ECC 91
Rö 2
GC10B
Rö 3
GTE 175M
Rö 4
GC10B
+500V
+300V
R2
50 kΩ
R6
1MΩ
R8
170kΩ
R11
300kΩ
R16
1MΩ
R18
200kΩ
C2
10nF
R3
50kΩ
R4
50kΩ
C5
2nF
R12
60 kΩ
H1
H2
R9
1MΩ
C6
1nF
K1+9
K0
C1
1nF
E
C4
1nF
A
R1
500kΩ
R5
50kΩ
C3
1nF
R7
150kΩ
R10
200kΩ
R13
10MΩ
R14
100kΩ
R15
100kΩ
R17
150kΩ
R19
15kΩ
R20
200kΩ
RT
C7
4μF
R21
20kΩ
R22
80kΩ
-100V

Abb. 8.2

und nur K0 ist getrennt herausgeführt. An letzterer ist eine gasgefüllte Triggerröhre mit kalter Kathode angeschlossen (Rö3). Wenn Rö1 die Stellung „0“ erreicht, zündet Rö3 und steuert das zweite Dekatron Rö4 zur nächsten Zählstellung. Der Doppelimpuls wird durch kapazitive Ankopplung der Hilfskathodengruppen an getrennte Anzapfungen des Anodenwiderstandes erzeugt. Zuerst entlädt sich C6 über die Triggerröhre und mit zeitlicher Verzögerung dann C5. Sind beide Kondensatoren bis zur Brennspannung entladen, löscht Rö3 automatisch. Zur Rückstellung des Zählers auf die Stellung „00“ ist wie in Abb. 8.1b wieder eine Taste RT vorgesehen.

8.3 Treiberstufen mit Transistoren

Gasgefüllte Zählröhren mit kalten Kathoden besitzen den Vorzug, keine Anheizzeit zu benötigen und unmittelbar nach dem Einschalten der Gerätes betriebsbereit zu sein. Um diese Annehmlichkeit voll ausnützen zu können, liegt es nahe, die Treiberstufen mit Transistoren auszurüsten (32, 33). Außerdem lassen sich die Zählstufen so noch kompakter aufbauen, als es bei Verwendung der Spezialröhren ohnedies schon der Fall ist.

Zwei Beispiele transistorisierter Schaltungen sind in Abb. 8.3 dargestellt (33). Die Stufe nach Bild a entspricht in ihrer Funktion der Röhrenstufe Abb. 8.1b. Der verzögerte zweite Steuerimpuls wird aus der Hinterflanke des Eingangsimpulses gewonnen. Es wird der RCA-Transistor 2N398 verwendet, der sich durch eine außerordentlich hohe zulässige Kollektorspannung auszeichnet. Beide Hilfskathodenimpulse haben eine Amplitude von ca. 100 V. Die Grenzfrequenz der Schaltung liegt bei 1 kHz, so daß der mit maximal 4 kHz angegebene Arbeitsbereich der Röhre GC10B nicht voll ausgenützt wird.

Um die zulässigen 4 kHz wirklich zu erreichen, muß die Impulsspannung erhöht werden. Wie Abb. 8.3b zeigt, kann das wegen der begrenzten Spannungsfestigkeit der Transistoren nur

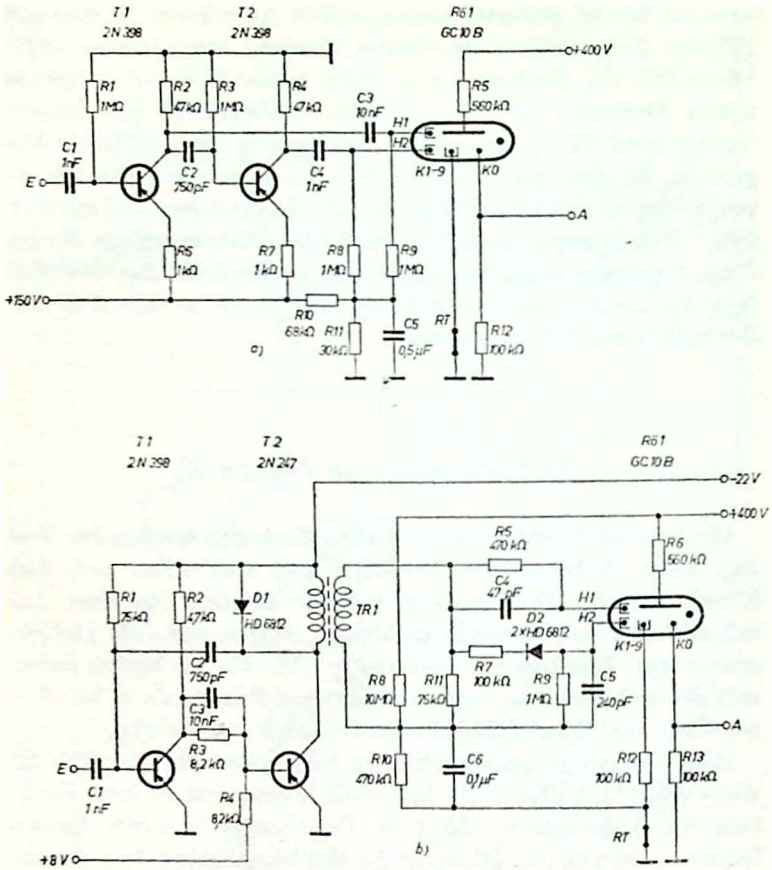


Abb. 8.3

durch transformatorische Ankopplung der Hilfskathoden geschehen. Die Transistoren T1 und T2 bilden einen monostabilen Multivibrator, der Impulse von 60 μsec Dauer und 20 V Amplitude erzeugt. Zu seiner Aussteuerung genügen positive Impulse von 5 V Höhe. Mit dem Transformator Tr1 wird die Spannung der Monovibratorimpulse auf 300 V übersetzt. Hilfskathoden-

gruppe H1 ist über ein Differenzierglied R5/C4 an den Transformator angeschlossen, während die Gruppe H2 über die Diode D2 einen an C5 integrierten Impuls erhält. Dieser ist gegen den erstgenannten verschoben. Die hohe Impulsspannung gestattet es, bis zu 4 kHz einwandfrei zu zählen.

8.4 Vor- und rückwärtszählende Schaltung

In Abschnitt 8.1 wurde darauf hingewiesen, daß die Zählrichtung eines Dekatrons durch Vertauschen der Hilfskathodengruppen leicht umgekehrt werden kann. Selbstverständlich genügt bei mehrstufigen Zählern diese Vertauschung allein nicht. Es muß zusätzlich dafür gesorgt werden, daß eine nachgeschaltete Stufe bei Addition anspricht, wenn die vorhergehende Stufe von 9 nach 0 schaltet, während sie bei Subtraktion auf den Übergang 0—9 reagieren muß.

Das Prinzipschaltbild eines nach diesen Gesichtspunkten aufgebauten mehrstufigen Zählers geht aus Abb. 8.4 hervor (29). Jede der beiden Dekaden verfügt über zwei Treiberstufen (V1/V2, bzw. V3/V4). Alle diese Stufen sind gleichartig aufgebaut; sie sprechen auf negative Steuerimpulse an und erzeugen zwei zeitlich versetzte Ausgangsimpulse. Die zweite Dekade ent-

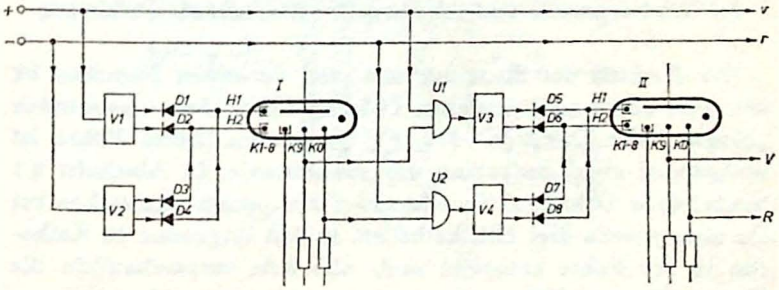


Abb. 8.4

hält außerdem zwei Koinzidenztore U1 und U2, die nur durch zwei gleichzeitig eintreffende negative Eingangsimpulse geöffnet werden und negative Ausgangsimpulse abgeben.

Werden an den Plus-Eingang negative Impulse gegeben, so arbeitet der Treiber V1 und schaltet die Röhre I in positiver Richtung fort. Verläßt die Entladung dabei die Kathode 9, um nach K0 zu springen, erhält U1 einen negativen Impuls. Gleichzeitig gelangt zu diesem Tor aber auch das negative Eingangssignal. U1 öffnet also, und der Treiber V3 spricht an. Er schaltet die Röhre II ebenfalls positiv weiter. Werden die Steuerimpulse dagegen dem Minus-Eingang zugeführt, so arbeitet der Treiber V2. Seine Ausgänge sind in umgekehrter Reihenfolge an die Hilfskathodengruppen angeschlossen wie die des Treibers V1. Röhre I zählt daher jetzt rückwärts. Springt die Entladung von K0 nach K9, so öffnet sich jetzt das Tor U2 und V4 spricht an. Auch Röhre II wird dadurch rückwärts fortgeschaltet.

An die Ausgänge V und R können weitere gleichartige Stufen angeschaltet werden. Bei der Auswahl der Dekatronröhren muß darauf geachtet werden, daß die Kathoden 0 und 9 an getrennte Sockelstifte geführt sind. Es müssen entweder Selector-Röhren verwendet werden oder speziell für den Zweirichtungsbetrieb geeignete Zählröhren (Bi-directional Computing Tubes), deren Hauptkathoden eine entsprechende Gruppenschaltung aufweisen.

8.5 Wirkungsweise und Schaltung des Einfachpuls-Dekatrons

Der Nachteil der Steuerung mit zwei versetzten Impulsen ist bei einer etwas abgewandelten Dekatronröhre, dem sogenannten „Single Pulse Dekatron“ (29, 34) vermieden. Diese Röhre ist weitgehend gleich aufgebaut wie das normale, in Abschnitt 8.1 beschriebene Dekatron. Zwischen zwei Hauptkathoden stehen bei ihr aber jeweils drei Hilfskathoden, so daß insgesamt 40 Kathoden in der Röhre enthalten sind. Abb. 8.5a veranschaulicht die Konstruktion des Röhrensystems an einer linearen Abwicklung.

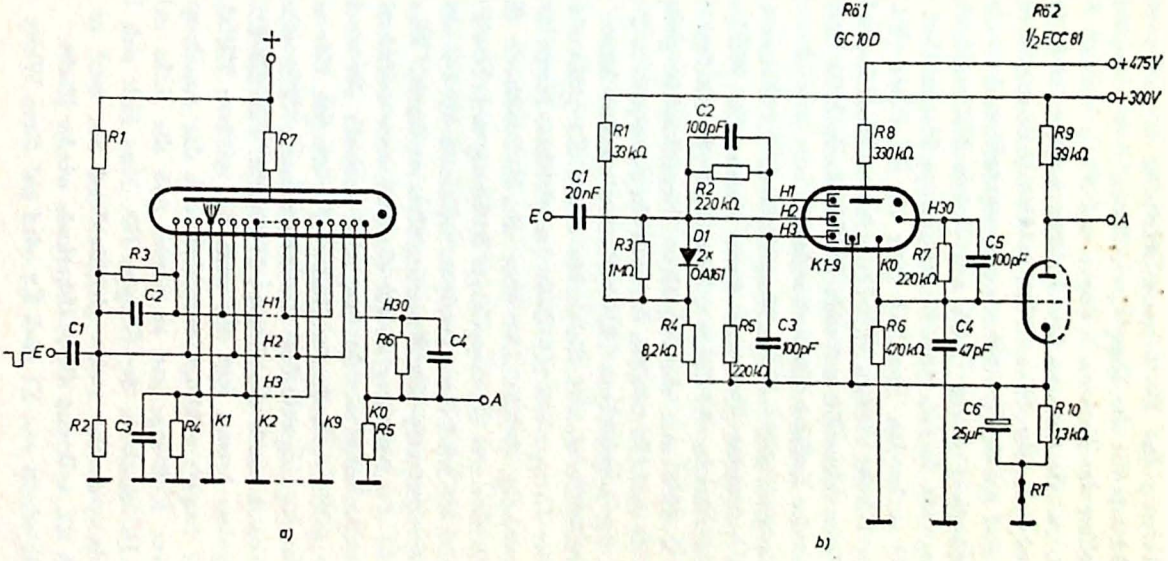

+
R1
R7
R3
C2
C1
E
H1
H2
H3
H30
R6
C4
A
R2
C3
R4
K1
K2
K9
K0
R5
a)
R61
GC 10D
R62
1/2 ECC 81
+475V
+300V
C2
100pF
R1
33kΩ
R8
330kΩ
R9
39kΩ
C1
20nF
R2
220kΩ
H1
H2
H3
H30
E
A
R3
1MΩ
D1
2x
OA161
K1-9
K0
R7
220kΩ
C5
100pF
R4
8,2kΩ
R5
220kΩ
C3
100pF
R6
470kΩ
C4
47pF
C6
25µF
R10
1,3kΩ
RT
b)

Abb. 8.5

Die Schaltung des Einfachpuls-Dekatrons ist nicht mehr so übersichtlich wie die der Doppelpulsröhren. Alle Hauptkathoden mit Ausnahme der Kathode 0 liegen auf Nullpotential. Die Kathode K0, an die eine nachgeschaltete weitere Dekade angeschlossen wird, ist über R5 an Null geführt. Alle mittleren Hilfskathoden sind zur Gruppe H2 zusammengefaßt und an eine positive Vorspannung gelegt. Auch alle linken Hilfskathoden sind zusammengefaßt. Die so entstehende Gruppe H1 ist über R3 und C2 mit H2 verbunden. Ebenfalls über ein RC-Glied (R4/C3) ist die Gruppe H3 der rechten Hilfskathoden an Null angeschlossen. Nur die links neben K0 stehende Hilfskathode H30 ist über R6 und C4 mit der Kathode K0 verbunden.

Im Anfangszustand soll nun Hauptkathode K1 brennen. Genau wie beim normalen Dekatron kann durch die Wirkung des Anodenwiderstandes R7 keine zweite Kathode zünden. An den Eingang E wird nun ein negativer Steuerimpuls gelegt. Die Gruppen H1 und H2 erhalten dadurch ein so negatives Potential, daß eine der zugehörigen Hilfskathoden zünden kann. Wegen der Vorionisation zündet die rechts neben K1 stehende Hilfskathode der Gruppe H1. K1 löscht im gleichen Moment, da die Anodenspannung absinkt. Der über die Hilfskathode fließende Strom lädt aber nun C2 in positiver Richtung auf. Das Potential der Gruppe H1 wird also ansteigen, während H2 bei der negativen Spitzenspannung des Steuerimpulses verharrt. Wenn nach kurzer Zeit die Spannung an C2 die Differenz zwischen Zünd- und Brennspannung erreicht hat, wird deshalb die nach rechts benachbarte Hilfskathode der Gruppe H2 zünden. Die während der Aufladung angestiegene Anodenspannung fällt wieder ab, und die Hilfskathode der Gruppe H1 löscht. Für die Dauer des Steuerimpulses brennt jetzt nur noch die mittlere Hilfskathode. Sowie der Impuls abklingt, verschiebt sich das Anodenpotential in positiver Richtung, und es zündet nun die links neben K2 stehende Hilfskathode der Gruppe H3. Nun lädt sich C3 auf, die Anodenspannung steigt gleichlaufend an, und es zündet schließlich K2, während die Hilfskathode wieder löscht.

Der Zählschritt von K1 nach K2 wird auf diese Weise von nur

einem Steuerimpuls geleistet. Obwohl die Zahl der Zwischenschritte noch größer ist als beim Doppelpuls-Dekatron, liegt die Zählgeschwindigkeit höher. Üblicherweise arbeiten die Röhren bis 20 kHz zufriedenstellend. Diese scheinbar unlogische Tatsache hat folgende Erklärung: Der durch die Aufladung der Kondensatoren verursachte automatische Transfer der Gasentladung erfolgt praktisch gleitend. Die Verweilzeit der Entladung auf den Kathoden der Gruppen H1 und H3 ist außerordentlich kurz.

Abb. 8.5b (35) zeigt die praktische Ausführung eines Zählkreises mit der Röhre GC10D (Etelco). Die Eingangsimpulse müssen mindestens eine Dauer von 25 μsec haben und ihre Amplitude soll 130—190 V betragen. Die Vorspannung für die Hilfskathoden wird dem Teiler R1/R4 entnommen. Damit die Eingangsimpulse einen hinreichend großen Arbeitswiderstand finden, sind die Gruppen H1 und H2 über die Diode D1 an den Teiler angeschlossen. Eine Diode ist nötig, weil sonst der geringe von der Vorionisation durch eine leitende Hauptkathode erzeugte Strom über die benachbarten Hilfskathoden am Widerstand R3 eine zusätzliche Vorspannung erzeugen würde.

Wichtig für die richtige Funktion der Schaltung ist die galvanische Ankopplung der Röhre 2. Durch die Diodenwirkung ihrer Gitter-Kathoden-Strecke wird die positive Spannung an R6 auf etwa 10 V begrenzt. Wäre diese Begrenzung nicht vorhanden, würde der Widerstand R6 zusammen mit der Schaltkapazität genau so wirken wie die RC-Glieder der Hilfskathoden und die Entladung auf K0 zum Erlöschen bringen. Weiterhin muß beachtet werden, daß die Hilfskathode H30 über R7 und C5 mit K0 und nicht mit dem Nullpotential verbunden ist.

9. EZ10-Zählschaltungen

9.1 Wirkungsweise der Röhren EZ10

Als Nachteil für manche Schaltung wurde bei den Dekatrons der etwas umständliche Transfer-Mechanismus mit drei oder vier Zwischenschritten genannt. Vor allem die dadurch gegebene Beschränkung auf niedere Zählfrequenzen verschließt diesen Röhren einen Teil der Anwendungsgebiete. Günstiger in dieser Hinsicht verhalten sich gasgefüllte Kaltkathoden-Zählröhren mit schräggestellten Kathoden (36, 37), als deren Hauptvertreter die Röhren der Typenreihe EZ10 (Elesta) besprochen werden sollen. Transfer-Mechanismus und erforderliche Steuerschaltung sind bei diesen Röhren sehr einfach. Zählfrequenzen bis zu 100 kHz lassen sich ohne Mühe erreichen, und es ist neuerdings sogar ein Typ bekannt, der bis zu Impulsfolgefrequenzen von 1 MHz arbeitet (38). Dagegen ist die Umkehr der Zählrichtung nicht mehr möglich.

Die höheren Grenzfrequenzen dieser Zählröhren haben drei Ursachen. Erstens enthalten sie nur 20 Kathoden. Sie sind daher ohne Mühe in den Abmessungen der üblichen Miniaturröhren herstellbar, und ihre inneren Kapazitäten können klein gehalten werden. Zweitens wird durch besondere Formgebung der Kathoden erreicht, daß jeder Zählschritt nur noch aus zwei Einzelschritten besteht. Und schließlich ist die Kathodenform so beschaffen, daß Füllgase mit geringer Trägheit verwendet werden können, ohne daß Neigung zu Kippschwingungen und damit Instabilität auftritt.

Der Aufbau der Röhren ähnelt dem des Dekatrons. Abb. 9.1a zeigt schematisch das Röhrensystem in linearer Abwicklung. Um eine zylindrische Anode sind zwanzig dachziegelartig schräggestellte Kathoden angeordnet. Zehn davon sind die Haupt-

kathoden, auf denen die leuchtende Gasentladung während der zehn Zählstellungen ruht und von außen abgelesen werden kann. Zwischen je zwei Hauptkathoden steht nur eine Hilfskathode. Die Hilfskathoden sind zu einer Gruppe H zusammengefaßt. Über den Widerstand Rh ist H mit dem Nullpotential verbunden. Alle Hauptkathoden sind getrennt an Sockelanschlüsse geführt, so daß der Zählerstand als positiver Spannungsabfall an den Kathodenwiderständen auch elektrisch abgelesen werden kann.

Zur Erklärung der Funktion sei angenommen, daß die Gasentladung auf Kathode 1 brenne. Unter der Voraussetzung, daß Rk so bemessen ist, daß die Kathodenspannung kleiner als die Differenz von Zünd- und Brennspannung ist, kann keine zweite Kathode zünden und die Entladung auf Kathode 1 ist stabil. Wie aus der Zeichnung hervorgeht, taucht die rechts von 1 stehende Hilfskathode durch die Schrägstellung schwach in die Entladungszone ein. Es fließt daher über sie ein geringer Sondenstrom und an Rh entsteht eine positive Vorspannung. Wird der Hilfskathodengruppe nun ein negativer Steuerimpuls zugeführt, erhöht sich die Spannung zwischen dieser und der Anode über die Zündspannung hinaus, so daß eine der Hilfskathoden zünden kann. Und zwar wird diejenige zünden, die durch die Vorionisation am stärksten begünstigt ist. Das ist die rechts von Kathode 1 stehende, die ja in die Entladungszone eintaucht. Sowie sie brennt, sinkt die Anodenspannung soweit ab, daß zwischen der

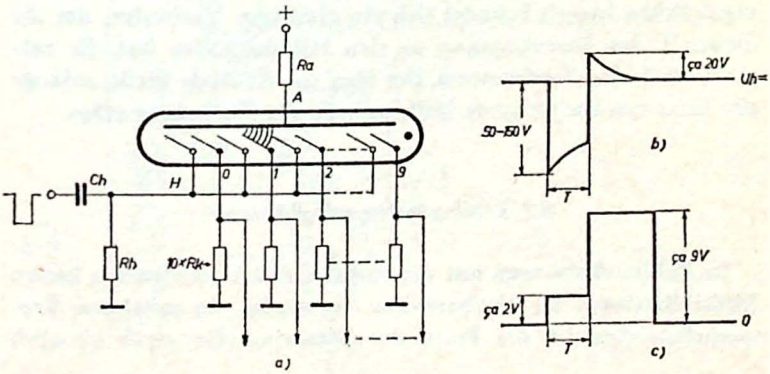


Abb. 9.1

Anode und den negativ gesteuerten Hilfskathoden die Brennspannung herrscht. Die Entladung auf Hauptkathode 1 muß daher löschen. Während der Dauer des Steuerimpulses brennt nur noch die Hilfskathode. Am Ende des Impulses steigt die Spannung an H durch die Wirkung des Widerstandes Rh zu positiven Werten an. Das Anodenpotential erreicht dadurch wieder einen Wert, der die Zündung einer Hauptkathode ermöglicht. Es zündet die Kathode 2, da sie wie zuvor die Hilfskathode am stärksten vorionisiert ist. Die Hilfskathode löscht im gleichen Moment, und die Röhre hat einen Zählschritt ausgeführt.

Die durch die Schrägstellung der Kathoden entstehende starke Vorionisation hat zwei wichtige Folgen. Erstens erhöht sich so die Zählgeschwindigkeit, da der statistische Zündverzug klein wird. Zweitens arbeitet die Röhre schon bei relativ kleinen Amplituden der Eingangsimpulse. Die Type EZ10A kommt bis zu Frequenzen von etwa 50 kHz schon mit Impulsspannungen von 50 V aus. Bei Frequenzen von 100 kHz und mehr empfiehlt sich eine Erhöhung der Steuerspannung bis zu maximal 150 V. Wird der Steuerimpuls außerdem noch schwach differenziert, so daß er die in Abb. 9.1b dargestellte Form erhält, lassen sich mit der gleichen Röhre Frequenzen von 200 kHz erreichen. Die positive Spitze des Steuerimpulses beschleunigt dabei den Transfer von der Hilfskathode zur Hauptkathode.

Der von einem der Kathodenwiderstände Rk abgenommene Ausgangsimpuls hat die in Abb. 9.1c dargestellte Form. Vor dem eigentlichen Impuls befindet sich ein niedriger Vorläufer, der die Dauer T des Steuerimpulses an den Hilfskathoden hat. Er entsteht durch den Sondenstrom, der über die Kathode fließt, solange die links von ihr stehende Hilfskathode die Entladung trägt.

9.2 Treiberstufen mit Röhren

In Zählerschaltungen mit der Röhre EZ10A werden am besten Multivibratoren als Treiberstufen verwendet. In mittleren Frequenzbereichen ist die Form der Steuerimpulse zwar ziemlich

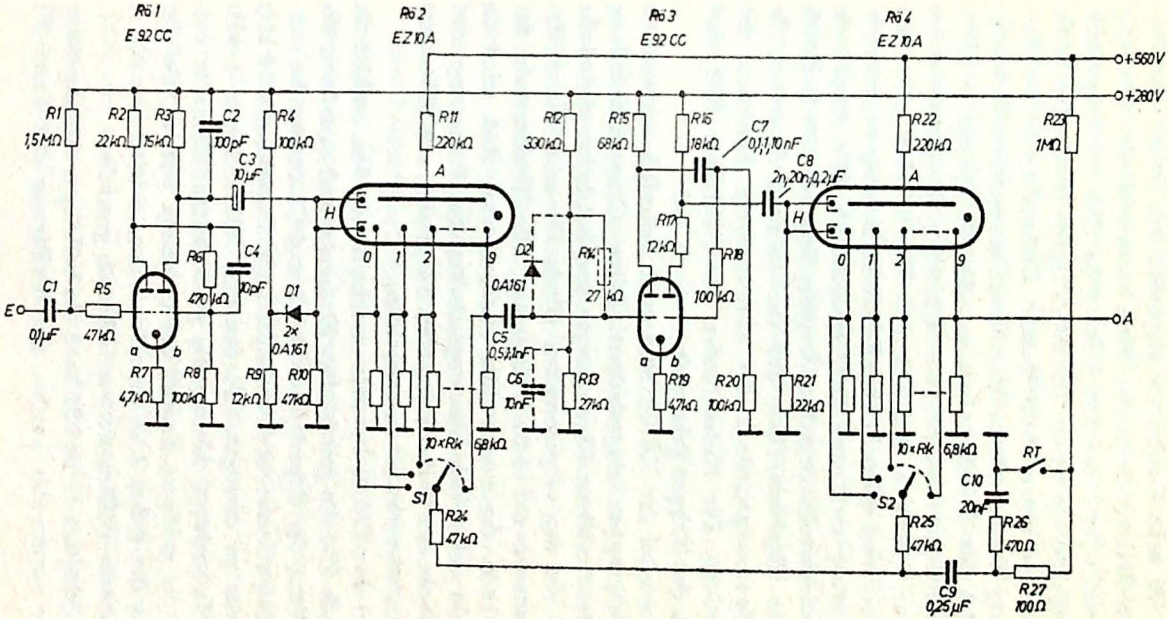

Röl
E92CC
Röl
EZ10A
Röl
E92CC
Röl
EZ10A
+560V
+280V
R1
1,5MΩ
R2
22kΩ
R3
15kΩ
C2
100pF
R4
100kΩ
R11
220kΩ
R12
330kΩ
R15
68kΩ
R16
18kΩ
C7
0,1;1;10nF
R22
220kΩ
R23
1MΩ
C3
10μF
C8
2n;20n;0,2μF
A
H
R6
470kΩ
C4
10pF
D1
2x
OA161
D2
OA161
Rk
27kΩ
R17
12kΩ
R18
100kΩ
0
1
2
9
E
C1
0,1μF
R5
47kΩ
a
b
R7
4,7kΩ
R8
100kΩ
R9
12kΩ
R10
47kΩ
C5
0,5;1;1nF
C6
10nF
R13
27kΩ
R19
4,7kΩ
R20
100kΩ
R21
22kΩ
10×Rk
6,8kΩ
S1
R24
47kΩ
S2
R25
47kΩ
C10
20nF
RT
R26
470Ω
C9
0,25μF
R27
100Ω
A

Abb. 9.2

gleichgültig, für hohe Frequenzen empfiehlt sich jedoch die Verwendung von Rechteck-Impulsen. Eine entsprechende Schaltung für eine Grenzfrequenz von 100 kHz ist in Abb. 9.2 dargestellt (37, 38). Eingangsstufe ist ein Schmitt-Trigger (Rö1). Die Stufe ähnelt im Aufbau einem Multivibrator. Unterschreitet die Eingangsspannung einen gewissen Schwellwert in negativer Richtung, sperrt plötzlich das Triodensystem a, während System b leitet. Beim Überschreiten eines zweiten kritischen Spannungswertes leitet dagegen System a, und b sperrt. Ein beliebig geformtes Eingangssignal wird daher in eine Rechteckspannung verwandelt. Zur Aussteuerung sind etwa 30 V erforderlich. Die Amplitude der an R3 entstehenden negativen Impulse liegt bei 120 V. Durch C2 wird die Flankensteilheit auf ca. 10^8V/sec begrenzt, da schnellere Spannungssprünge die einwandfreie Funktion der Zählröhre stören. Die Hilfskathoden der Zählröhre Rö2 sind kapazitiv an den Trigger gekoppelt.

Im Schaltsymbol der EZ10A sind zwei äußerlich verbundene Hilfskathodengruppen eingezeichnet. Diese Gruppeneinteilung entspringt konstruktiven Überlegungen und hat keine elektrische Bedeutung. Mit der vorgespannten Diode D1 wird die Hilfskathodenspannung auf +30 V begrenzt. Die Treiberstufe der zweiten Dekade, der monostabile Multivibrator Rö3 wird an Kathode 9 der ersten Zählröhre angeschaltet. Zur Steuerung wird die Hinterflanke des Kathodenimpulses ausgenützt, um Störungen durch den Impulsvorläufer zu vermeiden.

Sollen mit dem Zähler 100 kHz verarbeitet werden, enthält die Zwischenstufe Rö3 die gestrichelten Elemente, und es müssen die kleinsten Werte der Kapazitäten C5, C7 und C8 verwendet werden. Der Monovibrator ist dann in der Lage, Impulse mit 10 kHz Folgefrequenz zu erzeugen. Werden von Röhre 3 nur 1 kHz oder 100 Hz verlangt, können die gestrichelten Elemente entfallen und die größeren Kapazitäten eingesetzt werden. Bei der Ankopplung der Röhre 4 an den Monovibrator wird von der in 9.1 beschriebenen Differenzierung Gebrauch gemacht.

Mit den Schaltern S1 und S2 kann ein beliebiger Anfangsstand des Zählers vorgewählt werden. Bei Betätigung der Taste RT

entlädt sich der bis dahin an +560 V gelegene Kondensator C9, und die eingestellten Zählröhrenkathoden erhalten einen kräftigen negativen Impuls. Sie werden dadurch zwangsläufig gezündet, und die bisher brennenden Kathoden löschen.

Die Zählerschaltung, deren Kapazität durch Anfügen weiterer Stufen beliebig vergrößert werden kann, arbeitet noch bei Spannungsschwankungen von —15 und +10% einwandfrei. Die Spannungsunabhängigkeit ist umso besser, je höher die Versorgungsspannung für die Zählröhren gewählt wird. Die Röhren arbeiten bei Anodenstromschwankungen von 1,0 bis 1,7 mA einwandfrei. Je größer aber der Anodenwiderstand ist, umso kleinere Stromschwankungen verursachen die Speisespannungsänderungen, da die Brennspannung ja konstant bei ca. 265 V liegt.

9.3 Treiberstufen mit Transistoren

Abb. 9.3 zeigt eine Zählerschaltung für etwa 50 kHz Grenzfrequenz mit transistorbestückten Treiberstufen (37, 38). Als Eingangskreis kommt wieder ein Schmitt-Trigger zur Anwendung. Die erste Dekade Röl ist gleich geschaltet wie die entsprechende Dekade der Abb. 9.2. Da eine kleinere Speisespannung verwendet wird, ist lediglich der Anodenwiderstand R10 verkleinert, um den richtigen Anodenstromwert von 1,3 mA zu erreichen.

Die Treiberschaltung der zweiten Dekade ist denkbar einfach aufgebaut. Von Kathode 0 der ersten Zählröhre wird der positive Impuls abgenommen. Die vorgespannte Diode D2 unterdrückt den Impulsvorläufer. Mit der Vorderflanke des Restimpulses wird der im Ruhezustand völlig geöffnete Transistor T3 gesperrt. An seinem Kollektor entsteht daher ein fast rechteckiger negativer Impuls von etwa 50 V Höhe. Dieser steuert wiederum mit leichter Differenzierung die Zählröhre Rö2.

Zur Einstellung einer vorgewählten Anfangszahl wird ebenfalls ein mit der Taste RT erzeugter Impuls verwendet. Auch diese Zählerschaltung kann durch Hinzufügen weiterer Stufen beliebig vergrößert werden.

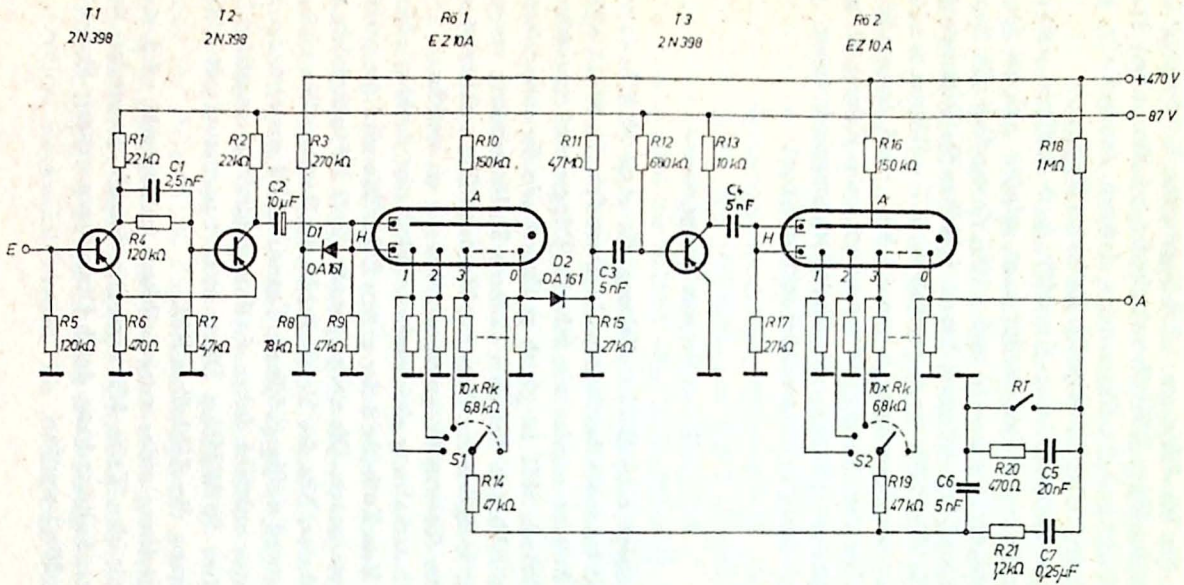

T1
2N398
T2
2N398
Röl
EZ10A
T3
2N398
Röl
EZ10A
+470 V
-87 V
R1
22kΩ
C1
2,5nF
R2
22kΩ
R3
270kΩ
C2
10µF
R10
150kΩ
R11
47MΩ
R12
680kΩ
R13
10kΩ
C4
5nF
R16
150kΩ
R18
1MΩ
E
R4
120kΩ
D1
OA161
H
A
D2
OA161
C3
5nF
R5
120kΩ
R6
470Ω
R7
47kΩ
R8
18kΩ
R9
47kΩ
R15
27kΩ
R17
27kΩ
10xRk
6,8kΩ
S1
R14
47kΩ
S2
R19
47kΩ
C6
5nF
R20
470Ω
C5
20nF
R21
12kΩ
C7
0,25µF
R1
A

Abb. 9.3

9.4 Stufe für Zählfrequenzen bis 1 MHz

Die schnellste zur Zeit bekannte gasgefüllte Zählröhre ist die Type EZ10B (Elesta). Ihr Systemaufbau ist dem der EZ10A praktisch gleich; es wird jedoch ein anderes Füllgas verwendet. Zur Steuerung dieser Röhre sind Impulse von der in Abb. 9.1b gezeigten Form nötig. Die negativ gerichtete Spitze soll 120 bis 150 V Amplitude und mindestens 0,5 μsec Länge haben; für die positive Spitze ist eine Höhe von 50 V ausreichend.

Eine geeignete Treiberschaltung ist in Abb. 9.4 dargestellt (38). Die Röhren 1 und 2 bilden einen monostabilen Multivibrator, der auf negative Steuerimpulse von etwa 15 V Amplitude anspricht. Bei niedrigen Zählfrequenzen haben die an der Anode der Röhre 2 entstehenden Impulse eine Dauer von ca. 1 μsec. Nähert sich die Steuerfrequenz dem Grenzwert 1 MHz, nimmt die Impulsdauer bis zu 0,5 μsec ab. Dieses Verfahren wird benutzt, um in niederen Frequenzbereichen die Unabhängigkeit von Speisespannungsschwankungen zu verbessern. Wird die Schaltung bis 1MHz ausgenützt, müssen alle Speisespannungen mit Ausnahme der + 280 V stabilisiert werden.

Mit der Induktivität L1 und den Koppelgliedern C3 und R8 wird die oben beschriebene Impulsform erzeugt. L1 ist dabei so bemessen, daß zusammen mit den Schaltkapazitäten eine Resonanzfrequenz von etwa 1 MHz entsteht. Mit C4 wird wie in der 100 kHz-Schaltung die Flankensteilheit der Steuerimpulse auf den unbedingt nötigen Wert begrenzt.

Die Schaltung der Zählröhre weicht etwas von derjenigen der EZ10A ab. Der wirksame Anodenwiderstand ist auf 82 kΩ verkleinert, um die Anodenzeitkonstante an die hohe Zählfrequenz anzupassen. Aus dem gleichen Grunde muß die anodenseitige Schaltkapazität so klein als möglich gehalten werden. Mit R9 wird der Anodenstrom auf den günstigsten Wert eingestellt. In der Regel liegt dieser bei 1,3 mA. Die Kathodenwiderstände sind auf 10 kΩ erhöht und kapazitiv überbrückt. Durch diese Maßnahme erhöht sich die Transfersicherheit erheblich. Befindet sich die Entladung auf einer Hilfskathode, so behält die eben von ihr

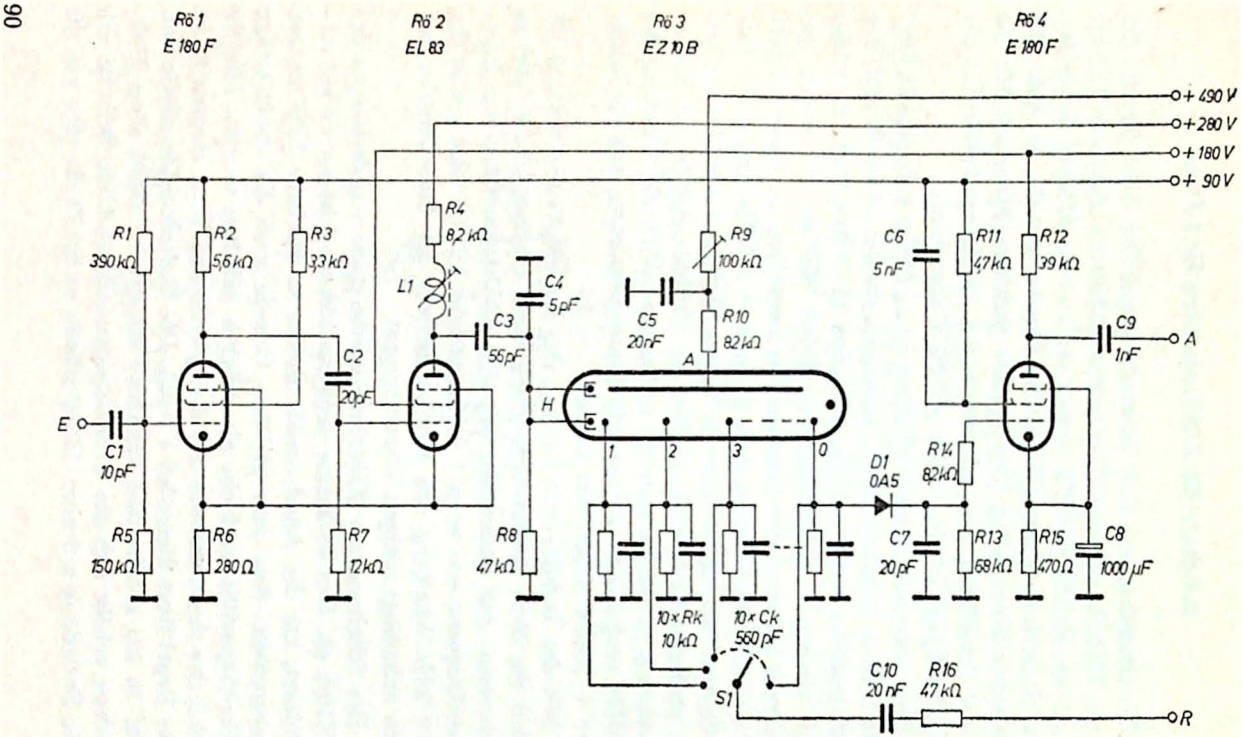

Rö 1
E 180 F
Rö 2
EL 83
Rö 3
EZ 10 B
Rö 4
E 180 F
+ 490 V
+ 280 V
+ 180 V
+ 90 V
R1
390 kΩ
R2
5,6 kΩ
R3
3,3 kΩ
R4
8,2 kΩ
L1
C4
5 pF
C3
56 pF
C2
20 pF
R9
100 kΩ
C5
20 nF
R10
8,2 kΩ
C6
5 nF
R11
47 kΩ
R12
39 kΩ
C9
1 nF
A
E
C1
10 pF
H
1
2
3
0
D1
OA5
R14
82 kΩ
R5
150 kΩ
R6
280 Ω
R7
12 kΩ
R8
47 kΩ
C7
20 pF
R13
68 kΩ
R15
470 Ω
C8
1000 µF
10 × Rk
10 kΩ
10 × Ck
560 pF
S1
C10
20 nF
R16
47 kΩ
R

Abb. 9.4

verlassene Kathode noch für kurze Zeit positive Spannung, während die nächstfolgende Kathode das Potential Null führt. Auf diese Weise vergrößert sich die Bevorzugung dieser Kathode.

Außerdem verringern die Kathodenkondensatoren die über die Röhrenkapazitäten zu den Kathodenwiderständen übertragene Spannung der Steuerimpulse. Auch die Ankopplung der Röhre 4 hat den Zweck, die durchschlagenden Hilfskathodenimpulse fernzuhalten. Die Diode D1 und der Kondensator C7 bilden ein Integrierglied, das nur die echten Kathodenimpulse überträgt, die nadelförmig durchdringenden Flanken der Hilfskathodenimpulse aber unterdrückt. Dabei verringert sich die Spannung der Ausgangsimpulse so weit, daß ein Ausgangsverstärker erforderlich wird. Er erhöht die Impulsspannung auf etwa 50 V, so daß an den Ausgang A die Zählschaltung nach Abb. 9 angeschlossen werden kann. Das Vorwahlverfahren ist das gleiche wie in den Abbildungen 9.2 und 9.3. Ein negativer Impuls bringt die mit dem Schalter S1 eingestellte Kathode zur Zündung.

10. E1T-Zählschaltungen

10.1 Wirkungsweise der Röhre E1T

Eine der bekanntesten Spezialröhren für dekadische Zählschaltungen ist die Valvo-Röhre E1T (39, 40). Sie arbeitet nach grundsätzlich anderen Prinzipien als die vorstehend beschriebenen Polykathodenröhren. Ihre zehn Zählzustände sind als diskrete Lagen eines transversalgesteuerten Elektronenstrahles gegeben. Der Elektronenstrahl trifft auf einen Leuchtschirm, so daß die jeweilige Zählstellung von Auge ablesbar ist.

Abb. 10.1a zeigt den prinzipiellen Aufbau des Röhrensystems in stark vereinfachter Darstellung. Ein bandförmiger Elektronenstrahl e durchläuft ein Ablenkplattenpaar d/d' und trifft auf die

Elektrode g4. Diese hat zehn rechteckige Löcher, durch die der Strahl auf die dahinterstehende Anode a2 gelangt. Zusätzlich zu den zehn Aussparungen besitzt g4 noch einen horizontal unter den Löchern 5—9 liegenden Schlitz.

Wird der Bandstrahl durch Veränderung der Spannung zwischen den Ablenkplatten über g4 geführt, ändert sich der Anodenstrom periodisch. Trifft der Strahl eines der Löcher, nimmt er ein Maximum an; prallt er dagegen auf einen Steg zwischen zwei Löchern, so zeigt er ein Minimum. Im Bereich des horizontalen Schlitzes addiert sich zu dieser Wellenbewegung ein konstant bleibender Stromanteil. Der funktionelle Zusammenhang zwischen Anodenstrom und Ablenkspannung ist in Abb. 10.1b graphisch wiedergegeben. Die Form der Kennlinie an den Grenzen des dargestellten Bereiches hat ihre Ursache in konstruktiven Einzelheiten des Röhrenaufbaues, die aus Abb. 10.1a nicht hervorgehen.

Zuerst muß nun geklärt werden, durch welche Maßnahmen der Elektronenstrahl in zehn verschiedenen Lagern stabil festgehalten werden kann. Es wird hierzu die Tatsache ausgenützt, daß die Anodenstromkennlinie abwechselnd steigenden und fallenden Charakter besitzt. Die Anode 2a wird mit einem Arbeitswiderstand versehen. Außerdem werden a2 und die Platte d miteinander verbunden. Im Diagramm Abb. 10.1b kann für Ud jetzt ohne weiteres Ua2 eingesetzt werden. In das so entstandene Ia2/Ua2-Kennlinienfeld wird die dem Anodenwiderstand entsprechende Arbeitsgerade eingezeichnet. Bei richtiger Bemessung des Widerstandes schneidet sie die Kennlinie abwechselnd in steigenden und fallenden Gebieten. Die Schnittpunkte mit den ansteigenden Kennlinienteilen sind stabil, und die zugehörigen Strahllagen bilden die zehn diskreten Zählzustände der Röhre.

Zur näheren Erläuterung des Stabilisierungsmechanismus sei angenommen, die Lage des Strahles entspreche dem Punkt 2 in Abb. 10.1b. Durch irgendeine von außen kommende Störung verschiebe sich der Strahl nun etwas nach rechts. Wie die Kennlinie zeigt, erhöht sich dann der Anodenstrom sehr stark. Dadurch vergrößert sich der Spannungsabfall am Anodenwiderstand, und

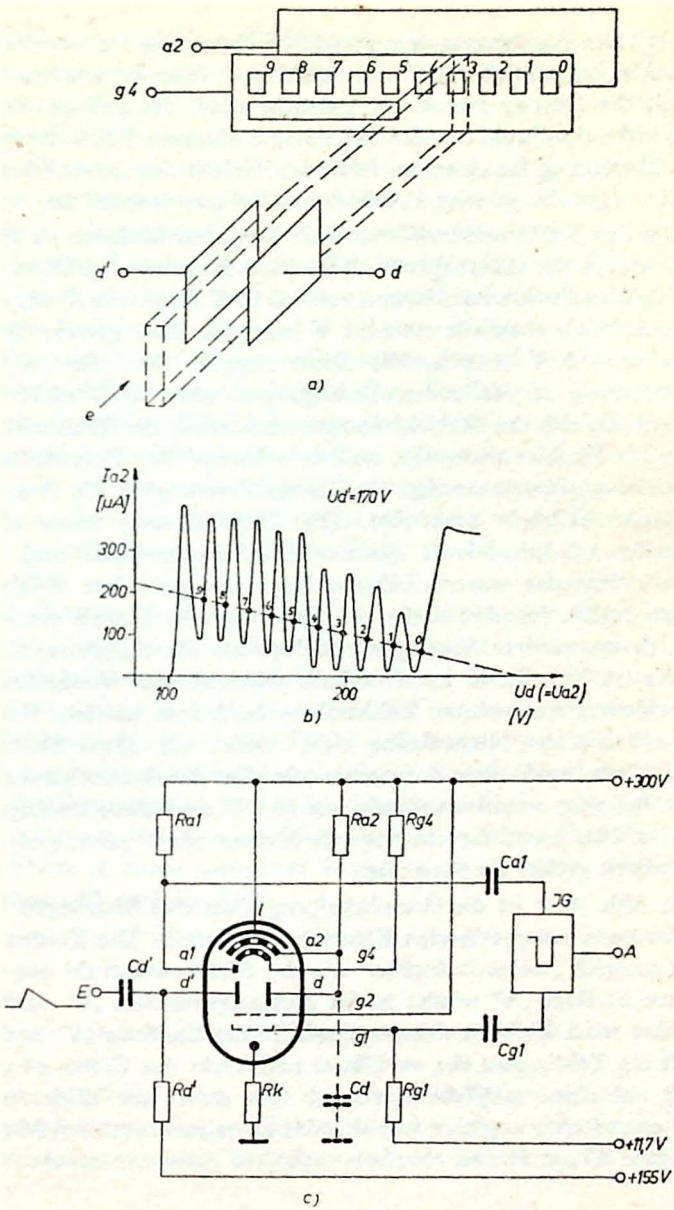

a2
g4
9 8 7 6 5 4 3 2 1 0
d'
d
e
a)
Ia2
[μA]
Ud'=170 V
300
200
100
100
200
Ud (=Ua2)
[V]
b)
+300V
Ra1
Ra2
Rg4
Ca1
JG
A
l
a1
a2
g4
Cd'
d'
d
E
g2
g1
Cg1
Rd'
Rk
Cd
Rg1
+117V
+155V
c)

Abb. 10.1

die mit der Anodenspannung identische Spannung Ud verringert sich. Das bedeutet aber, daß der Strahl nach links verschoben und damit die Störung unwirksam gemacht wird. Es gelingt dieser also nicht, den Strahl aus der Lage 2 zu entfernen. Wird die gleiche Überlegung für einen im fallenden Gebiet liegenden Schnittpunkt angestellt, so zeigt sich leicht, daß dieser instabil ist.

Um den Elektronenstrahl von einer Lage zur nächsten zu steuern, werden der Ablenkplatte d' positive Impulse zugeführt. Da die stabilen Punkte im Abstand von ca. 14 V liegen, muß die Impulsamplitude ebenfalls etwa 14 V betragen. Ihre genaue Toleranz ist 13,6 V $\pm 15\%$. Mit dieser Angabe sind die an den Steuerimpuls zu stellenden Bedingungen aber noch nicht erschöpft. Da sich der Stabilisierungsmechanismus der Weiterschaltung des Strahles widersetzt, muß er während der Fortschaltung unwirksam gemacht werden. Zu diesem Zweck wird die ihm anhaftende Trägheit ausgenützt. Die Stabilisierung kann nicht schneller arbeiten, als es die aus Anodenwiderstand und der parallelliegenden unvermeidbaren Kapazität gebildete Zeitkonstante zuläßt. Es wird daher zur Steuerung ein Impuls verwendet, dessen vordere Anstiegszeit kleiner als die Anodenzeitkonstante ist. Der Strahl kann deshalb während der Vorderflanke ungehindert zur nächsten Zählstellung befördert werden. Damit er während der Hinterflanke nicht wieder zur alten Stellung zurückfällt, muß diese langsamer als die Anodenzeitkonstante sein. Bei einer Impulsamplitude von 13,6 V sind diese Bedingungen erfüllt, wenn die Anstiegszeit kleiner als 1 μsec und die Abfallzeit größer als 8 μsec ist.

In Abb. 10.1c ist die Grundschaltung einer den bisherigen Erläuterungen entsprechenden Zählstufe dargestellt. Die Zeichnung gibt zugleich Auskunft darüber, wie der Elektronenstrahl aus der linken Endlage „9" wieder in die Ausgangsposition „0" zurückgeführt wird. Befindet sich der Strahl in der Stellung „9" und es trifft ein Zählimpuls ein, verläßt er nach links das Gitter g4 und trifft auf eine zusätzliche Anode a1. Der dabei am Widerstand Ra1 entstehende negative Impuls stößt einen monostabilen Multivibrator IG an. Dessen ebenfalls negativer Ausgangsimpuls wird

an ein Gitter (gl) der Zählröhre gegeben und unterdrückt kurzzeitig den Elektronenstrahl. Dabei erhöht sich die Spannung an a2 und d bis auf 300 V, so daß der nach dem Impuls wiederkehrende Strahl zwangsläufig zur Stellung „0" gelenkt wird. Über den Ausgang A wird der Multivibratorimpuls gleichzeitig zur Steuerung einer nachgeschalteten Dekade benutzt.

Es ist offensichtlich, daß dieses Rückstellverfahren verhältnismäßig viel Zeit beansprucht. Die Grenzfrequenz der Röhre E1T ist im wesentlichen nur durch diesen Zeitverlust gegeben. Um höhere Frequenzen als etwa 30 kHz zu erreichen, wird nicht der Strahl unterdrückt, sondern die Ablenkplatte d wird mit einem hohen positiven Impuls beaufschlagt. Auf diese Weise lassen sich in der Spitze Zählfrequenzen bis zu 1 MHz verarbeiten (41). Für niedrige Zählgeschwindigkeiten von wenigen Kilohertz kann dagegen auf einen zusätzlichen Impulsgenerator völlig verzichtet werden. In diesen Fällen wird der an Anode a1 entstehende Impuls unmittelbar zur Rückstellung des Strahles verwendet (39, 41).

Abschließend soll noch die Frage der Richtungsumkehr angeschnitten werden (42, 43). Werden der Platte d′ negative Impulse zugeführt, so bewegt sich der Strahl von links nach rechts. Schwierigkeiten bereitet jetzt aber der Transfer von Stellung „0" zu Stellung „9". Wenn der Strahl nach rechts über das Gitter g4 hinaus gelenkt wird, verringert sich der Strom über dieses Gitter und die Spannung an Rg4 steigt plötzlich an. Mit dem so entstandenen Impuls läßt sich ein Multivibrator anstoßen. Dieser liefert zur Platte d einen negativen Impuls, und der Strahl wird zur Position „9" zurückgestellt.

10.2 Dekade für Zählfrequenzen bis 30 kHz

Abb. 10.2 zeigt einen nach der Grundschaltung der Abb. 10.1c arbeitenden zweistufigen Zähler für eine maximale Frequenz von 30 kHz (39, 42). Die Rückführungen von „9" nach „0" werden

von den Multivibratoren durch Unterdrückung der Elektronenstrahlen gesteuert. Auch die Einstellung der Anfangswerte „0“ von außen geschieht nach diesem Prinzip. Wird der Kontakt RT geöffnet, erhalten die Kathoden der Zählröhren eine positive Vorspannung, und die Röhren sperren.

Außer dieser Einstellmöglichkeit verfügt der Zähler über eine Vorwahlschaltung. Zu jeder Zählstufe gehört ein Spannungsteiler, an dessen zehn Abgriffen mit den Schaltern Sn Spannungen abgenommen werden können, die den zehn Strahllagen entsprechen. Das heißt, von Stufe zu Stufe erhöht sich die Spannung um rund 14 V. In Stellung „0“ beträgt sie etwa 230 V und in Stellung „9“ etwa 105 V. Alle Spannungsteiler besitzen Abgleichwiderstände, mit denen die genauen Werte eingestellt werden können. Die Größe der Vorwiderstände R30 und R53 hängt von der Stufenzahl ab.

Im Ruhezustand ist die Taste VW geöffnet. Die Dioden Rö3 und Rö6 erhalten daher die volle Speisespannung von + 300 V und sind gesperrt. Alle Zählröhren sollen sich nach Betätigung der Taste RT in Stellung „0“ befinden. An den mit den Ablenkplatten d verbundenen Anoden liegen daher etwa 230 V. Wird jetzt der Kontakt VW geschlossen, so öffnen sich die Dioden und die Platten d erhalten von den Spannungsteilern Potentiale, die den vorgewählten Zählstellungen entsprechen. Die Elektronenstrahlen springen zwangsläufig in die eingestellten Positionen und verharren dort auch nach Öffnen der Taste VW.

10.3 Dekade für Zählfrequenzen bis 100 kHz

Um maximale Zählfrequenzen bis 100 kHz zu erreichen, muß die für die Rückstellung von „9“ nach „0“ benötigte Zeit auf höchstens 10 μsec herabgesetzt werden. Wie in Abschnitt 10.1 bereits erwähnt wurde, kann dann nicht mehr mit Unterdrückung des Elektronenstrahles gearbeitet werden, sondern die Rückführung muß durch Impulsspannungen an den Ablenkplatten erfol-

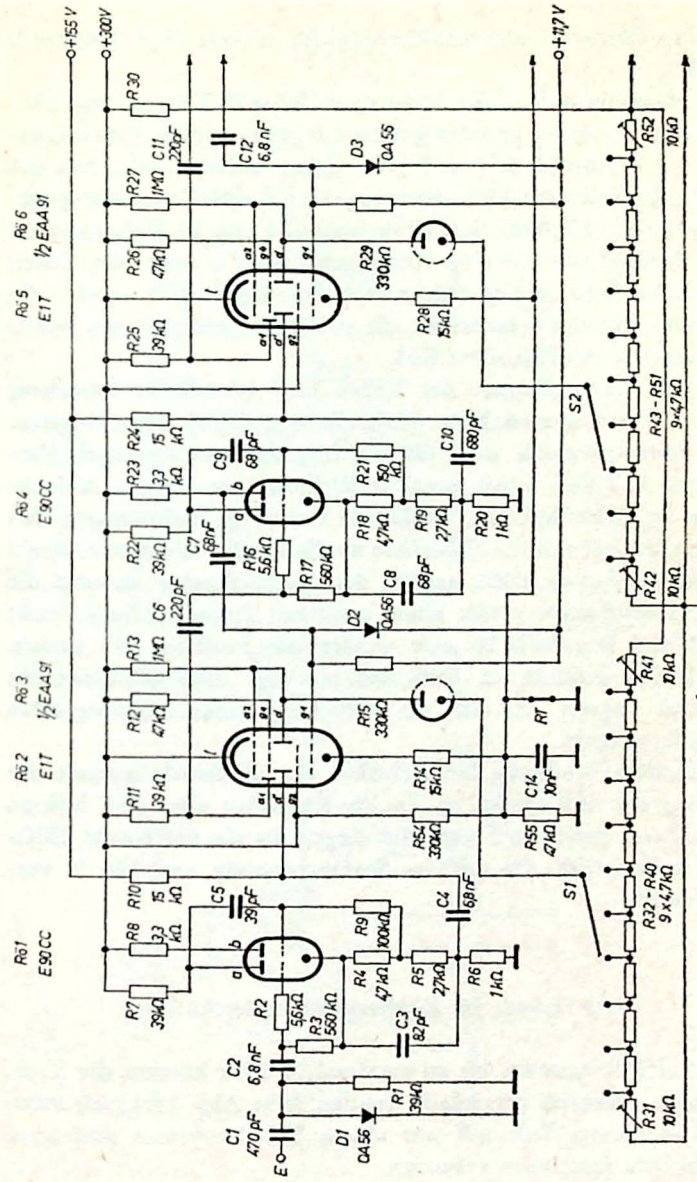

+155 V
+300 V
+117 V
Röl
E90CC
Rö2
E1T
Rö3
½ EAA91
Rö4
E90CC
Rö5
E1T
Rö6
½ EAA91
R7 39kΩ
R8 3,3 kΩ
R10 15 kΩ
R11 39kΩ
R12 47kΩ
R13 1MΩ
R22 39kΩ
R23 3,3 kΩ
R24 15 kΩ
R25 39kΩ
R26 47kΩ
R27 1MΩ
R30
C1 470pF
C2 6,8nF
C3 82pF
C4 6,8nF
C5 39pF
C6 220pF
C7 68pF
C8 68pF
C9 68pF
C10 680pF
C11 220pF
C12 6,8nF
C13 180pF
C14 10nF
D1 OA56
D2 OA56
D3 OA56
R1 39kΩ
R2 56kΩ
R3 560kΩ
R4 47kΩ
R5 27kΩ
R6 1kΩ
R9 100kΩ
R14 15kΩ
R15 330kΩ
R16 5,6kΩ
R17 560kΩ
R18 47kΩ
R19 27kΩ
R20 1kΩ
R21 150 kΩ
R28 15kΩ
R29 330kΩ
R54 330kΩ
R55 47kΩ
RT
S1
S2
R31 10kΩ
R32 - R40 9 x 4,7kΩ
R41 10kΩ
R42 10kΩ
R43 - R51 9 x 47kΩ
R52 10kΩ
R53
VW

Abb. 10.2

gen. Ein entsprechendes Schaltbeispiel ist in Abb. 10.3 dargestellt (39, 42).

Als Eingangsstufe (Rö1) kommt ein Schmitt-Trigger zur Verwendung. Zu seiner Steuerung sind Eingangssignale von mindestens 15 V Amplitude und 2 μsec Dauer erforderlich. Aus der am Anodenwiderstand R3 abgenommenen Rechteckspannung entstehen durch Differentiation Dreieckimpulse von 14 V Amplitude. Ihre Vorderflanke hat eine Anstiegszeit von 1 μsec, die Dauer der Hinterflanke beträgt 8 μsec. Mit der Diode Rö2 werden die negativen Impulse unterdrückt; die positiven gelangen zur linken Ablenkplatte der Zählröhre Rö3.

An die Rückstellanode der Röhre E1T ist wie in Schaltung Abb. 10.2 ein monostabiler Multivibrator (Rö6) angeschlossen. Sein Ausgangsimpuls wird differenziert und gelangt nach Verstärkung in Röhre 5 mit positiver Richtung zur rechten Ablenkplatte der Zählröhre. Die Diode Rö4 trennt im Ruhezustand den Verstärkerkreis von der Zählröhre ab. Sowie der Elektronenstrahl die Rückstellanode trifft, spricht der Multivibrator an und die rechte Ablenkplatte erhält einen positiven Impuls. Dieser lenkt den Strahl innerhalb 10 μsec wieder zur Position „0“ zurück. Gleichzeitig entsteht im Kathodenkreis des Monovibrators ein positiver Impuls, der sich zur Steuerung einer nachfolgenden Zählröhre eignet.

Besondere Beachtung beim Aufbau der Zählstufe kommt der Heizung der drei Dioden zu. Da die Kathoden aller drei Röhren auf höheren positiven Potentialen liegen, ist ein getrennter Heizkreis erforderlich, der mit der Speisespannung von 156 V verbunden ist.

10.4 Dekade für Zählfrequenzen bis 10 kHz

Für Zählfrequenzen bis zu maximal 10 kHz können die Treiberstufen erheblich vereinfacht werden. Wie Abb. 10.4 (43) zeigt, wird in diesem Fall mit nur einem Triodensystem und zwei Dioden das Auslangen gefunden.

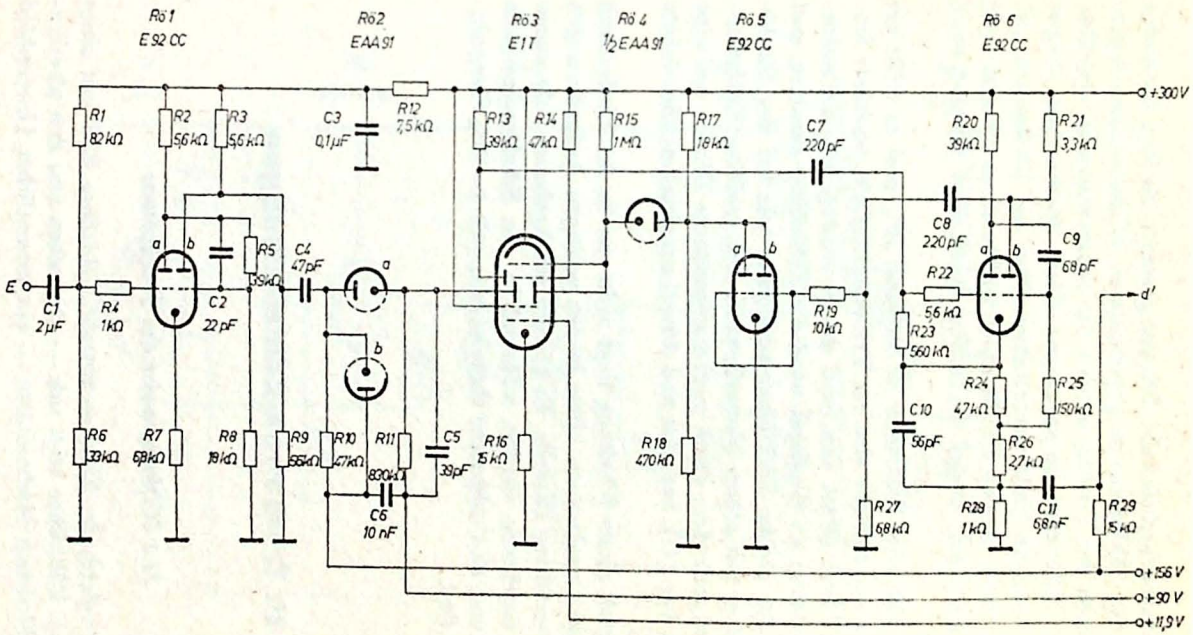

Rö 1
E92CC
Rö 2
EAA91
Rö 3
E1T
Rö 4
½EAA91
Rö 5
E92CC
Rö 6
E92CC
+300V
R1 82kΩ
R2 5,6kΩ
R3 5,6kΩ
C3 0,1µF
R12 7,5kΩ
R13 39kΩ
R14 47kΩ
R15 1MΩ
R17 18kΩ
C7 220pF
R20 39kΩ
R21 3,3kΩ
C8 220pF
C9 68pF
R5 39kΩ
C4 47pF
E
C1 2µF
R4 1kΩ
C2 22pF
R22 5,6kΩ
R23 560kΩ
R19 10kΩ
a'
R24 47kΩ
R25 150kΩ
C10 56pF
R26 2,7kΩ
R6 33kΩ
R7 68kΩ
R8 19kΩ
R9 56kΩ
R10 47kΩ
R11 890kΩ
C5 39pF
R16 15kΩ
R18 470kΩ
C6 10nF
R27 68kΩ
R28 1kΩ
C11 68nF
R29 15kΩ
+156V
+90V
+11,9V

Abb. 10.3

Im Normalzustand sind die Trioden gesperrt, da ihre Kathoden mit denen der Zählröhren an gemeinsamen Widerständen liegen. Zur Steuerung der Trioden werden die Spannungen an den Gittern g4 der Zählröhren herangezogen. Diese Spannungen steigen stark an, wenn die Elektronenstrahlen über die Stellungen „9" hinaus abgelenkt werden. Die Strahlen treffen dann nämlich nicht mehr auf die Gitter, so daß die Ströme durch diese plötzlich stark abnehmen.

Befindet sich eine Zählröhre in Stellung „9", und es trifft ein Zählimpuls ein, entsteht also am Triodengitter ein positiver Impuls. Die Triode öffnet sich, und die Spannung am Kathodenwiderstand steigt an. Dadurch wird die Zählröhre gesperrt, und es erfolgt der gleiche Rückführungsvorgang wie bei der Strahlunterdrückung mit einem Monovibrator. Der positive Kathodenimpuls wird außerdem durch zwei vorgespannte Dioden auf eine Amplitude von 14 V begrenzt und steuert unmittelbar die nächste Zählröhre.

Der Vorteil dieser Schaltung liegt nicht nur in der Einfachheit des Aufbaues, sondern vor allem in den geringen Anforderungen an die verwendeten Bauteile. Es können durchgehend Toleranzen von 10% zugelassen werden, während in den Schaltungen nach Abb. 10.2 und 10.3 zahlreiche Bauelemente mit 1—2% Genauigkeit nötig sind.

11. Trochotron-Zählschaltungen

11.1 Wirkungsweise des Trochotrons

Beim Vergleich der Elektronenstrahl-Zählröhre E1T mit einer gasgefüllten Zählröhre zeigt sich — abgesehen von den physikalisch verschiedenen Mechanismen — ein wesentlicher Unterschied

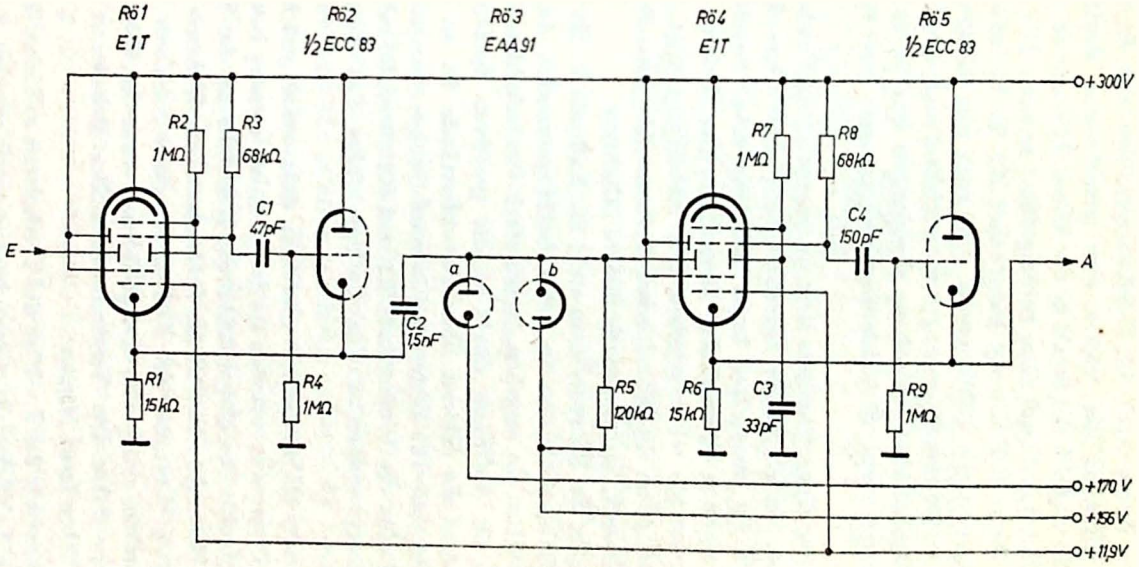

Rö1
E1T
Rö2
½ ECC 83
Rö3
EAA 91
Rö4
E1T
Rö5
½ ECC 83
+300V
R2
1MΩ
R3
68kΩ
C1
47pF
E
a
b
C2
1,5nF
R1
15kΩ
R4
1MΩ
R5
120kΩ
R6
15kΩ
C3
33pF
R7
1MΩ
R8
68kΩ
C4
150pF
R9
1MΩ
A
+170 V
+155 V
+11,9V

Abb. 10.4

zwischen den Bewegungen des Elektronenstrahles und der Gasentladung. Während die letztere eine geschlossene Kreisbahn durchläuft, bewegt sich der Strahl in der Röhre E1T nur um einen gewissen Winkel und muß dann zurückgeführt werden. Die Notwendigkeit dieser Rückführung kompliziert die Treiberschaltungen und begrenzt die Zählfrequenz. Um auch mit Elektronenstrahlröhren rotierende Bewegungen zu erreichen, muß vom Prinzip der elektrostatischen Ablenkung abgegangen werden und ein anderer Steuer- und Stabilisierungsmechanismus angewendet werden.

Eine Lösung dieses Problems liegt im sogenannten Trochotron vor (44—49). Im englischen Sprachgebrauch wird diese Röhre anschaulicher als „magnetron beam switching tube" bezeichnet. In Abb. 11.1a ist in schematischer Darstellung der Aufbau eines solchen Trochotrons wiedergegeben. Die Abbildung zeigt einen senkrecht zur Achse des zylindrischen Systems gelegenen Schnitt und zugleich auch die prinzipielle äußere Schaltung.

In der Achse des Röhrensystems steht die Kathode K. Sie wird von zehn Schirmelektroden Sn, zehn Auffängeranoden An und zehn Gitterstiften Gn umgeben. In der stark vereinfachten Schaltung liegen die Auffänger direkt an der positiven Speisespannung, während die Schirme über Vorwiderstände Rs an diese angeschlossen sind. Die Gitter sind in zwei Gruppen zusammengefaßt und über die Widerstände R1 und R2 ebenfalls mit der Speisespannung verbunden. Die Kathode führt das Potential Null.

Das gesamte Röhrensystem wird von dem axial gerichteten Feld eines Permanentmagneten durchsetzt. Es sei vorweg bemerkt, daß die Polarität des Magnetfeldes die Zählrichtung der Röhre bestimmt. Unter dem Einfluß des Feldes kann ein Elektron nicht auf kürzestem Wege von der Kathode zu einer positiven Elektrode übergehen, sondern es bewegt sich auf einer in Abb. 11.1a angedeuteten Bahn. Der Trochoidenform der Bahnkurve verdankt die Röhre ihren Namen.

Zur Erläuterung der Funktion des Trochotrons soll eine lineare Abwicklung des Elektrodensystems herangezogen werden. Außer-

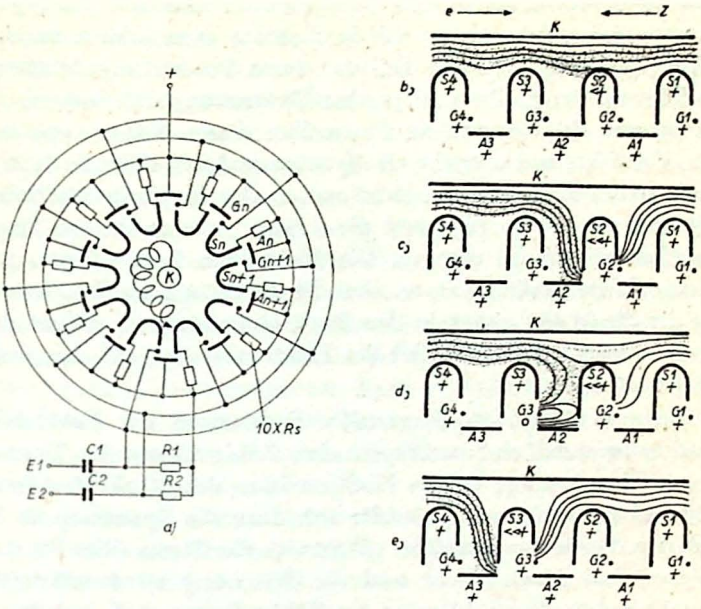


Abb. 11.1

dem soll die axiale Ausdehnung des Systems, also die aus der Zeichenebene herausragende Höhe, zu Null angenommen werden. Die Kathode K nimmt so die Form einer Geraden an. Haben alle Schirme S gleiche positive Spannung, so liegen die Äquipotentiallinien des elektrischen Feldes zwischen der Kathode und den Schirmen angenähert parallel zur Kathode. Die Stärke des Magnetfeldes ist so gewählt, daß die Mittelpunkte der Trochoidenbahnen praktisch den Äquipotentiallinien folgen. Das heißt, solange alle Schirme gleiche positive Spannung haben, bewegt sich der Elektronenstrom angenähert parallel zur Kathode und trifft keine der positiven Elektroden. Selbstverständlich ist dieser Bewegung die zykloide Rotation überlagert. Dies ist im folgenden immer der Fall, wenn von „Bewegung" gesprochen wird.

Wird nun die Spannung an einem der Schirme etwas verklei-

nert, so ergibt sich der in Abb. 11.1b gezeigte Zustand. Die Äquipotentiallinien deformieren sich in Richtung zum Schirm verringerter Spannung (S2). Ein Teil der durch Punkte angedeuteten, in Richtung des Pfeiles e fliegenden Elektronen wird dadurch zu S2 gelenkt. Es fließt nun ein Strom über diesen Schirm, und der am Vorwiderstand entstehende Spannungsabfall läßt die Spannung weiter absinken. Die Deformation der Äquipotentiallinien schreitet selbständig fort, und die Linien werden in den Spalt zwischen S2 und S3 gezogen. Die Elektronen folgen ihnen auf diesem Wege, und der Strom über S2 durchläuft ein Maximum. Ist der Strahl tief genug in den Spalt eingedrungen, nimmt der Strom wieder ab, da ein Teil der Elektronen jetzt auf den Auffänger A2 trifft.

Dieser in Abb. 11.1c dargestellte Endzustand der Felddeformation ist stabil und verkörpert eine Zählstellung des Trochotrons. Ohne kräftige äußere Einflüsse kann der Strahl den Spalt nicht wieder verlassen. Es müßte sich dazu die Spannung an S2 erhöhen. Sowie das geschieht, nähert sich der Strom über S2 aber wieder dem Maximalwert und die Spannung wird selbsttätig herabgedrückt. Zur Ablesung der Zählstellung wird der Strom über den Auffänger benützt. Manche Röhrentypen sind zusätzlich mit Leuchtschirmen ausgerüstet, so daß die Ablesung auch von Auge erfolgen kann.

Der beschriebene „Einfang" des Strahles in den Spalt beruht auf dem Zusammenwirken negativer und positiver Kennlinienteile der Strom-Spannungs-Charakteristik des Schirmes. Bei abnehmender Spannung steigt zuerst der Strom an: Die Kennlinie ist negativ. Der Endzustand liegt dagegen jenseits des Maximums im positiven Kennlinienteil und ist deshalb stabil.

Um die Zählstellung des Trochotrons in der mit dem Pfeil Z angegebenen Richtung weiterzuschalten, wird nun die Spannung des Gitters G3 herabgesetzt. Die Äquipotentiallinien verformen sich dadurch gemäß Abb. 11.1d. Die Ströme über A2 und S2 nehmen ab, und die Elektronen werden überwiegend zum Schirm S3 gelenkt. An S2 steigt die Spannung wieder zu hoch positiven Werten, während sie an S3 absinkt. Es wiederholt sich jetzt der gleiche

„Einfang“ wie zuvor, und der Elektronenstrahl läßt sich im Spalt zwischen S3 und S4 nieder (Abb. 11.1e).

Üblicherweise werden die Gitter in zwei Gruppen geschaltet (Abb. 11.1a) und von Zählschritt zu Zählschritt abwechselnd negative Impulse an diese Gruppen gegeben. Würden die Steuerimpulse gleichzeitig an alle Gitter gelegt, so würde der Strahl während der Impulsdauer in keinem Spalt zur Ruhe kommen, sondern laufend von Spalt zu Spalt springen. Es gibt allerdings eine selten angewendete Möglichkeit, dies zu verhindern. Durch Parallelschaltung von Kondensatoren zu den Schirmvorwiderständen wird die Zeitkonstante der Schirme vergrößert. Gleichzeitig wird die Impulsdauer kleiner als diese Zeitkonstante gemacht. Der Transfer des Strahles von Spalt zu Spalt braucht dann soviel Zeit, daß der Steuerimpuls bereits abgeklungen ist, wenn der Strahl im neuen Spalt ankommt. Ein ungewollter zweiter Zählschritt ist dadurch unmöglich.

Abschließend muß noch auf das Verfahren bei der Einstellung einer beliebigen Anfangsstellung eingegangen werden. Zu diesem Zweck wird der Strahl zuerst unterdrückt. Nach Wiederaufheben dieser Sperrung muß sich der Strahl neu formieren. Dazu wird der gewünschte Schirm auf niedrigerem Potential gehalten als alle anderen. Die Formation geschieht dann zwangsläufig an der vorgesehenen Stelle. Dieses etwas umständliche Verfahren ist notwendig, da z. B. ein Herabsetzen der Spannung an S1 in Abb. 11.1c keinerlei Einfluß auf den im Spalt S2/S3 formierten Strahl haben würde.

11.2 Dekade für Zählfrequenzen bis 1 MHz

Die Schaltung einer mit alternativer Steuerung der Gitter arbeitenden Zählstufe für Frequenzen bis 1 MHz ist in Abb. 11.2 dargestellt (35). Von den negativen Eingangsimpulsen wird der bistabile Multivibrator Rö1 abwechselnd in seine beiden Lagen

gekippt. Die Steuerimpulse sollen ca. 30 V Amplitude und eine Dauer von 0,2 μsec besitzen. An die beiden Anoden des Multivibrators sind gleichstrommäßig über Glimmdioden zwei Kathodenverstärker Rö3 angekoppelt. Von ihren Kathodenwiderständen R12 und R13 erhalten die beiden Gittergruppen des Trochotrons VS10G (Etelco) gegensinnige Steuerspannungen. Durch die Bemessung der Kathodenwiderstände und des Widerstandes R20 wird erreicht, daß die Spannungen zwischen den Gittern und der Kathode des Trochotrons zwischen etwa +50 V und etwa —5 V abwechseln.

Zur elektronischen Ablesung des Zählzustandes sind alle Auffängerelektroden An mit Vorwiderständen Ra versehen. An den Ausgängen entstehen so negativ gerichtete Impulse von ca. 30 V Amplitude. Die Rückstellung des Elektronenstrahles von einer beliebigen Lage zur Anfangsposition „0" geschieht wie folgt: Beim Schließen der Rückstelltaste RT erhöht sich die Kathodenspannung des Trochotrons, während die Schirmspannungen absinken. Der Elektronenstrahl wird auf diese Weise unterdrückt. Wird die Taste wieder geöffnet, steigen die Spannungen an den Schirmen S1—9 wieder bis zum ursprünglichen Wert an. Nur der Schirm S0 verharrt noch für kurze Zeit bei niedrigem Potential, da C8 negativ aufgeladen ist. Die Neuformation des Elektronenstrahles wird daher beim Schirm S0 erfolgen.

Gleichzeitig mit der Einstellung des Elektronenstrahles im Trochotron muß auch der Multivibrator Rö1 in die richtige Lage gebracht werden. Es wird deshalb der beim Schließen der Taste RT am Widerstand R18 entstehende negative Impuls über den Differenzierkondensator C10 zum linken Gitter der Röhre 1 geführt.

Bei kapazitätsarmer Verdrahtung der Schirmelektroden arbeitet die Zählstufe einwandfrei bis zu Impulsfrequenzen von 1 MHz. Die mit speziellen Trochotrontypen (M0—10R, Burroughs) erreichbaren Höchstfrequenzen liegen sogar bei 10 MHz. Auch mit transistorbestückten Treiberstufen lassen sich Geschwindigkeiten bis über 1 MHz erreichen (49). Vorteilhaft werden dabei Röhrentypen für niedrigste Betriebsspannungen verwendet.

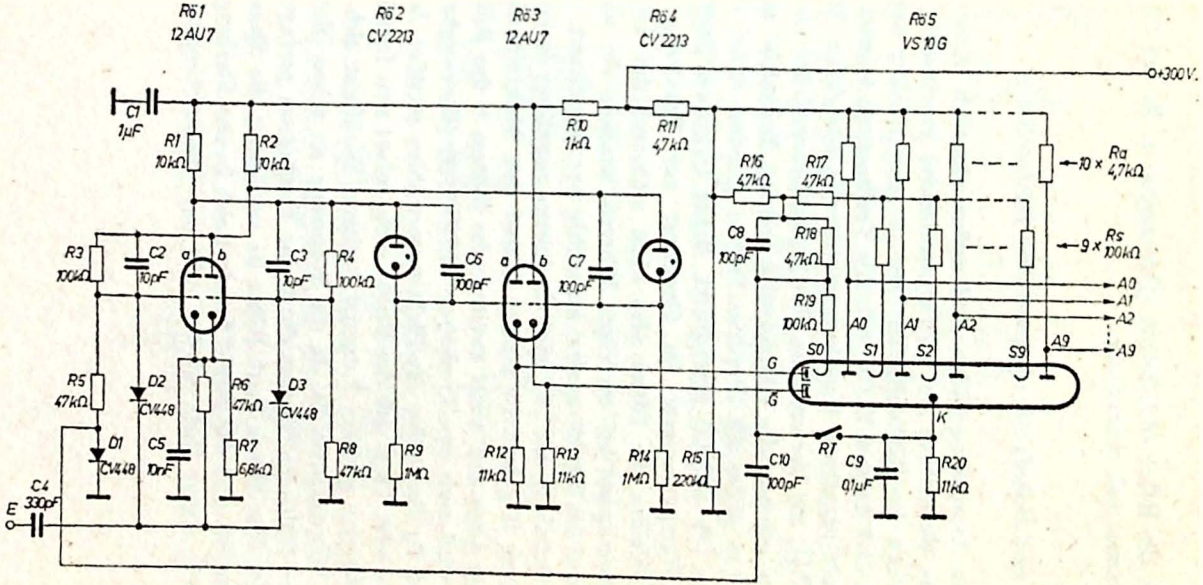

R61
12AU7
R62
CV2213
R63
12AU7
R64
CV2213
R65
VS10G
+300V.
C1
1µF
R1
10kΩ
R2
10kΩ
R10
1kΩ
R11
4,7kΩ
R16
47kΩ
R17
47kΩ
10 × Ra
4,7kΩ
9 × Rs
100kΩ
R3
100kΩ
C2
10pF
C3
10pF
R4
100kΩ
C6
100pF
C7
100pF
C8
100pF
R18
4,7kΩ
R19
100kΩ
A0
A1
A2
A9
S0
S1
S2
S9
G
K
R5
47kΩ
D2
CV448
R6
47kΩ
D3
CV448
D1
CV448
C5
10nF
R7
6,8kΩ
R8
47kΩ
R9
1MΩ
R12
11kΩ
R13
11kΩ
R14
1MΩ
R15
220kΩ
C10
100pF
R1
C9
0,1µF
R20
11kΩ
C4
330pF
E

Abb. 11.2

So arbeitet die Röhre MBST6701 (Burroughs) z. B. bei 22,5 V Speisespannung noch zuverlässig.

11.3 Dekade mit elektronischer Rückstellung

In vielen Anwendungsfällen sind außerordentlich kurze Zeiten für die Einstellung des Anfangszustandes erwünscht. Eine Schaltung, mit der Rückstellzeiten von 10 μsec erreicht werden, ist in Abb. 11.3 dargestellt (50, 51). Als Treiberstufe kommt wieder ein mit negativen Impulsen gesteuerter bistabiler Multivibrator (Rö1) zur Verwendung. Ein Zwischenverstärker ist nicht vorgesehen, sondern die Kippimpulse werden kapazitiv an die Gittergruppen gekoppelt. Positive Spitzen werden dabei durch die Dioden D4 und D5 unterdrückt. Beide Gruppen liegen an positiven Vorspannungen. Im Gegensatz zur Schaltung nach Abb. 11.2 bleiben die Gitter also nicht während der Impulspausen abwechselnd bei niedrigen Werten, sondern sie werden nur während des Strahltransfers kurzzeitig herabgesteuert.

Zur Rückstellung auf „0" wird ein kurzer negativer Impuls an den Eingang R gelegt. Er steuert einmal den Multivibrator in die richtige Lage und sperrt zweitens das System b der Röhre 2. Dadurch wird auch das Trochotron MBST6700 (Burroughs) gesperrt und die Formation des Elektronenstrahles zerstört. Ist der Impuls beendet, kann sich der Strahl nicht sofort neu formieren, da alle Schirme gleiches Potential besitzen. Es öffnet sich aber nun das Röhrensystem 2a, da die Spannung an seiner Kathode wegen des fehlenden Stromes durch das Trochotron geringer geworden ist. Der Strom durch Röhre 2a verringert die Spannung am Schirm S0, und der Strahl formiert sich in der Stellung „0". Gleichzeitig sperrt Rö2a wieder, und der Rückstellvorgang ist beendet.

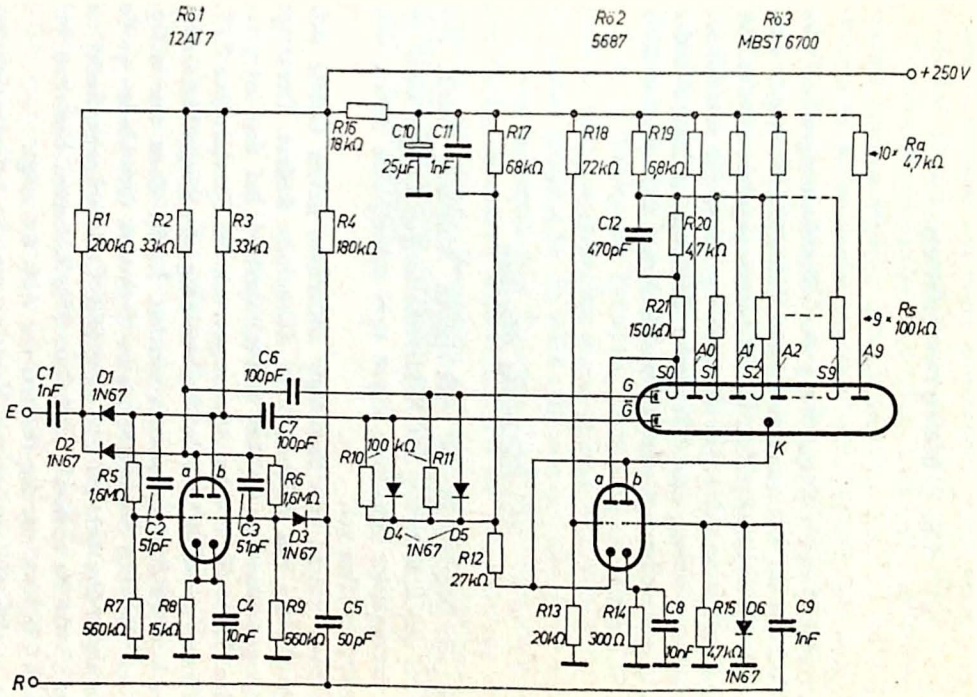

Röl
12AT7
Röl
5687
Röl
MBST 6700
+250V
R16
18kΩ
C10
25μF
C11
1nF
R17
68kΩ
R18
72kΩ
R19
6,8kΩ
10×
Ra
4,7kΩ
R1
200kΩ
R2
33kΩ
R3
33kΩ
R4
180kΩ
C12
470pF
R20
4,7kΩ
R21
150kΩ
9×
Rs
100kΩ
A0
A1
A2
A9
S0
S1
S2
S9
G
K
C1
1nF
D1
1N67
C6
100pF
C7
100pF
E
D2
1N67
R5
1,6MΩ
R6
1,6MΩ
a
b
C2
51pF
C3
51pF
D3
1N67
R10
100kΩ
R11
D4
1N67
D5
1N67
R12
27kΩ
R7
560kΩ
R8
15kΩ
C4
10nF
R9
560kΩ
C5
50pF
R13
20kΩ
R14
300Ω
C8
10nF
R15
4,7kΩ
D6
1N67
C9
1nF
R

Abb. 11.3

12. Ableseverfahren

Im Anschluß in die Besprechung der Zählschaltungen soll nun eine Übersicht der mit den eigentlichen Zählstufen in enger Verbindung stehenden zusätzlichen Einrichtungen gegeben werden. Zu den wichtigsten Anordnungen dieser Art gehören die verschiedenen Ableseverfahren, denn Ziel jeder Zählung ist letzten Endes die Erzeugung einer optischen oder elektrischen Information über den Zählerstand.

12.1 Elektrische Ablesung

Auf die Möglichkeit der elektrischen Ablesung wurde bereits bei der Erläuterung der Zählerschaltungen hingewiesen. Je nach verwendeter Schaltung liegen drei prinzipielle Arten von Ausgangssignalen vor.

Es kann erstens eine Spannung entstehen, deren Größe sich treppenförmig von Zählschritt zu Zählschritt ändert. Derartige Ausgangsspannungen ergeben sich automatisch bei den integrierenden Zählstufen und bei Schaltungen mit der Spezialröhre E1T. Sie können ebenfalls leicht bei Verwendung von Ringzählern oder Kathodenzählröhren gewonnen werden. Es ist dazu nur nötig, von den einzelnen Ringgliedern oder Kathoden verschieden große Spannungen abzunehmen und diese über Entkopplungsglieder an einem Punkt zu sammeln. Ähnliche Möglichkeiten bestehen bei binären Zählern, wie das Beispiel der Abb. 6.4 zeigt.

Die zweite, für die weitere Verarbeitung der Information bequemste Möglichkeit besteht darin, daß jede einzelne Zählstellung als Signal an einem besonderen Ausgang abgelesen werden kann. Diese Eigenschaft besitzen alle Ringzähler, die Kaltkatho-

denzählröhren und die Trochotronschaltungen. Grundsätzlich können auch die Treppenspannungen zu Signalen dieser Form umgewandelt werden. Der dazu erforderliche Aufwand ist jedoch so groß, daß diese Umwandlung in der Regel nicht lohnt.

Den dritten und letzten Fall bilden schließlich Ausgangssignale, wie sie bei den binären Zählern auftreten. Jede Zählstellung ist durch eine Kombination verschiedener Ausgangsspannungen gegeben. Da diese „Verschlüsselung" meistens dyadisch ist, eignen sich Signale solcher Art besonders gut zur Weiterverarbeitung in digitalen Anordnungen, da auch diese in der Regel auf dem dyadischen Zahlensystem basieren. Wo eine Umwandlung in diskrete Ausgangssignale der zweiten Gruppe erwünscht ist, werden Netzwerke ähnlich der in Abb. 6.3 gezeigten Form benutzt.

Soll ein Zähler zur Steuerung anderer Baugruppen verwendet werden, wird zweckdienlich zuerst gefragt, welche Signalart dazu am besten geeignet ist. Es wäre z. B. abwegig, eine digitale Schaltung über aufwandreiche Zwischenglieder mit einem integrierenden Zähler steuern zu wollen. Auch bei der Anwendung eines der unten beschriebenen Verfahren zur optischen Ablesung muß eine geeignete Anpassung zwischen Anzeigemethode und Zählschaltung gesucht werden.

12.2 Optische Anzeige

Am einfachsten löst sich das Problem der optischen Anzeige des Zählerstandes bei der Verwendung glimmröhrenbestückter Ringschaltungen oder der meisten Typen spezieller Zählröhren. In beiden Fällen ist der Zählerstand direkt erkennbar. Bei allen anderen Schaltungen müssen dagegen zusätzliche Mittel zur Anzeige vorgesehen werden. Aber auch in den genannten Fällen werden häufig besondere Anzeigevorrichtungen benützt, um die Erkennbarkeit zu verbessern.

Eine vielgebrauchte Möglichkeit ist die Sichtbarmachung mit Feldern von Glühlampen oder Glimmlampen. So können z. B. die

Glieder eines Ringzählers mit Lämpchen versehen werden (Abb. 5.5). Nach Abb. 5.4 ist auf diese Weise auch eine dekadische Anzeige möglich. Jeder Ziffer ist dabei ein Lämpchen zugeordnet. Etwas komplizierter wird die Schaltung des Lampenfeldes, wenn von binären Zählstufen ausgegangen wird. Am einfachsten verursacht jeder Multivibrator in einer seiner Stellungen das Aufleuchten einer Glimmlampe. In der Regel leuchten dann natürlich mehrere Lampen gleichzeitig auf. Den drei Lampen eines dreistufigen Zählers z. B. kommen die Zahlenwerte 1, 2 und 4 zu, und der Zählerstand ist gleich der Summe der so zugeordneten Zahlen. Die Ablesung erfordert also eine Umrechnung und ist etwas mühsam. Es wird deshalb besser wie in Abb. 6.3 verfahren und über ein transformierendes Netzwerk ein dekadisches Lampenfeld angeschlossen.

Ein wesentlicher Nachteil der Anzeige mit Lampenfeldern besteht darin, daß die den Zählerstand kennzeichnende Zahl nicht immer an der gleichen Stelle erscheint. Selbst wenn die verschiedenen Lämpchen transparente Ziffern beleuchten und diese gut erkennbar sind, erschwert es die Ablesung erheblich, wenn das Auge längs einer Ziffernkolonne die leuchtende Stelle suchen muß. Immer häufiger werden daher Verfahren angewendet, bei denen die Ziffern 0—9 am gleichen Ort aufleuchten.

Die Abbildungen 12.1a und 12.1b zeigen zwei der ältesten Methoden zur Erreichung dieses Zieles. Im ersten Fall beleuchten die Lampen eines Feldes Ziffernschablonen, die über eine Anzahl Optiken am gleichen Ort einer Mattscheibe abgebildet werden. Diese Anordnung ist zwar sehr leistungsfähig, da sie große und lichtstarke Ziffern erzeugt, der mechanisch-optische Aufwand ist aber außerordentlich groß. Etwas einfacher ist der Aufbau nach Abb. 12.1b. Die Ziffern sind hier in hintereinandergestellte transparente Platten graviert. Wird eine Platte mit seitlichem Flutlicht beleuchtet, ist die entsprechende Ziffer durch den Stapel der anderen Platten hindurch erkennbar.

Beide Verfahren arbeiten mit zehn Lämpchen und besitzen für jede Ziffer einen besonderen Eingang. Sie eignen sich daher am besten für Ringzähler und Schaltungen mit Polykathodenröhren.

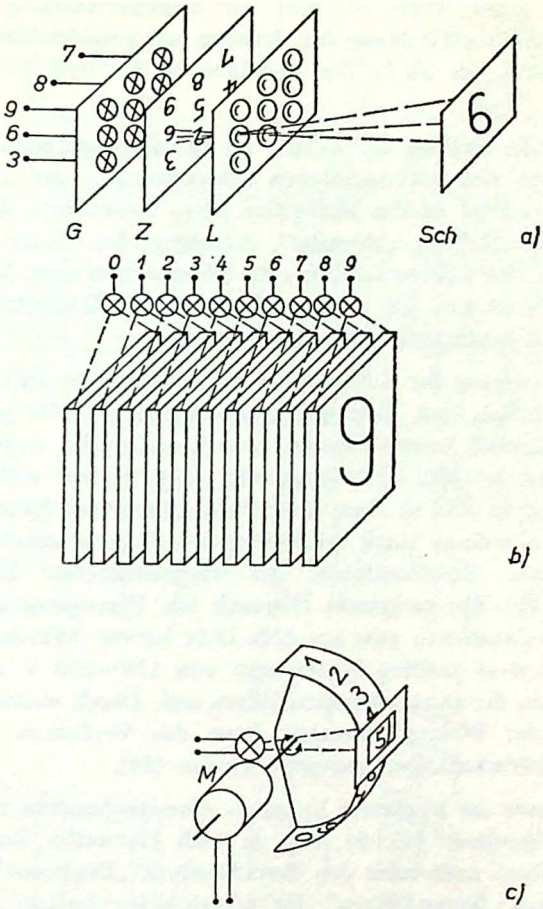


Abb. 12.1

Stehen dagegen Treppenspannungen zur Verfügung, so kann vorteilhaft die Anordnung nach Abb. 12.1c benutzt werden. Ein Drehspulsystem M bewegt hier ein Zylindersegment, das die transparenten Ziffern trägt. Je nach angelegter Spannung erscheint im Betrachtungsfeld die entsprechende, von hinten be-

leuchtete Ziffer. Diese Methode der Sichtbarmachung ist die logische Weiterentwicklung der Anzeige mit gewöhnlichen Meßinstrumenten, wie sie in den Abbildungen 4.2 und 6.4 gezeigt wurde.

Damit die Stellung der Ziffern im Betrachtungsfenster unabhängig von den unvermeidbaren Schwankungen der Treppenamplituden wird, ist das Meßsystem M so konstruiert, daß es in bevorzugter Stellung „einrastet". Anzeigegeräte dieser Art ermöglichen eine außerordentlich gute Ablesbarkeit auch über größere Entfernungen. Sie werden als handliche Baueinheiten mit großer Ansprechempfindlichkeit hergestellt.

Die Erzeugung der Ziffern 0—9 am gleichen Ort ist nicht nur dadurch lösbar, daß diese zur entsprechenden Stelle projiziert oder mechanisch bewegt werden. Eine grundsätzlich andersartige Lösung ist in Abb. 12.2 dargestellt (52). Sieben stabförmige Glimmlampen sind in Form einer Acht angeordnet (Abb. 12.2a). Die — allerdings stark stilisierten — Ziffern entstehen als verschiedene Kombinationen der eingeschalteten Lämpchen (Abb. 12.2b). Ein geeignetes Netzwerk zur Erzeugung der richtigen Kombinationen geht aus Abb. 12.2c hervor. Werden an die Eingänge 0—9 positive Spannungen von 150—250 V angelegt, so leuchten die entsprechenden Ziffern auf. Durch andersartigen Aufbau der Widerstandsmatrix kann das Verfahren auch an binäre Zählschaltungen angepaßt werden (53).

Die heute am häufigsten benutzten Anzeigeelemente sind Ziffernanzeigeröhren (35, 54, 55). Je nach Hersteller finden sich diese Röhren auch unter den Bezeichnungen „Digitrons", „Inditrons" und „Nixie-Röhren". Ihr prinzipieller Aufbau geht aus Abb. 12.3a hervor. In einem edelgasgefüllten Röhrenkolben stehen hintereinander eine Netzanode und zehn Kathoden. Die aus dünnen Drähten gebogenen Kathoden haben die Formen der zehn Ziffern. Wird zwischen Anode und eine der Kathoden Spannung angelegt, so bedeckt sich die letztere mit Glimmlicht. Durch das außerordentlich dünndrahtige Anodennetz wird so die eingeschaltete Ziffer sichtbar.

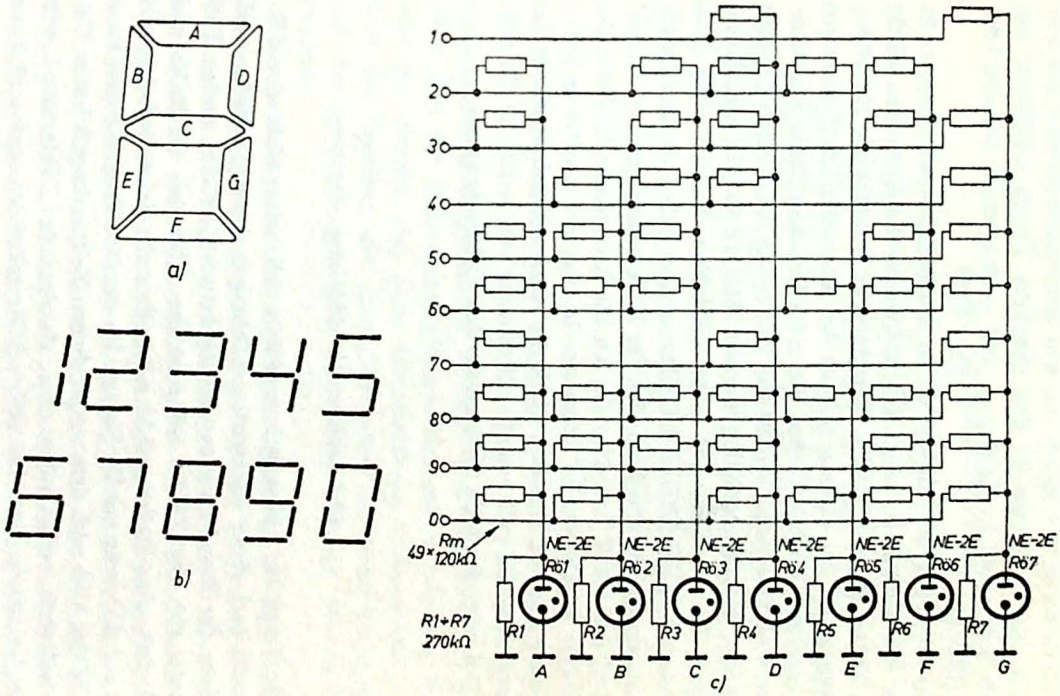

A
B
C
D
E
F
G
a)
12345
67890
b)
1
2
3
4
5
6
7
8
9
0
Rm
49×120kΩ
NE-2E
Rö1
Rö2
Rö3
Rö4
Rö5
Rö6
Rö7
R1÷R7
270kΩ
R1
R2
R3
R4
R5
R6
R7
A
B
C
D
E
F
G
c)

Abb. 12.2

Röhren dieser Art stehen mit den unterschiedlichsten Ziffern-größen zur Verfügung. Es sind ebenfalls Typen erhältlich, mit denen Brüche und die Zeichen + und — dargestellt werden können (Etelco).

Die Steuerung der Anzeigeröhren durch Zählerschaltungen ist meist sehr einfach. In vielen Fällen können die Kathoden direkt vom Zähler gespeist werden. Die dadurch entstehende Belastung ist gering, da der Stromverbrauch bei normalen Ausführungen nur ca. 2 mA beträgt. Stehen die erforderlichen Steuerspannungen von mindestens 50 V nicht zur Verfügung, so müssen einfache Verstärker zwischengeschaltet werden. Abb. 12.3b gibt hierfür ein Beispiel. An die Kathoden einer Zählröhre EZ10A sind zehn Transistoren angeschlossen. Im Ruhezustand leiten sie und halten die Spannungen an den Kathoden der Ziffernanzeigeröhre Z510M (Valvo) bei +4 V fest. Nur der an die brennende Kathode der Zählröhre angeschlossene Transistor ist von der positiven Basisspannung gesperrt. Dadurch erhält die entsprechende Kathode der Anzeigeröhre die volle negative Spannung von —100 V. Sie zündet und zeigt durch ihr Glimmlicht den Zählerstand an.

12.3 Speichernde Ablesung

Die Frage der Ablesung kompliziert sich, wenn nicht der Zählerstand nach einer vollendeten Zählung angezeigt werden soll, sondern der Stand zu einer vorgegebenen Zeit. Im ersten Fall befindet sich der Zähler während der Ablesung in Ruhe und verändert seine Stellung nicht mehr. Es steht daher beliebig viel Zeit zur Ablesung zur Verfügung. Im zweiten Fall dagegen kann der Zähler auch nach dem vorgegebenen Zeitpunkt mit hoher Geschwindigkeit weiterlaufen. Der abzulesende Zählerstand tritt unter Umständen nur für einige Mikrosekunden auf und kann mit den oben beschriebenen Anzeigemethoden nicht erfaßt werden.

Zwischen Zähler und Anzeigesystem muß in diesem Fall ein

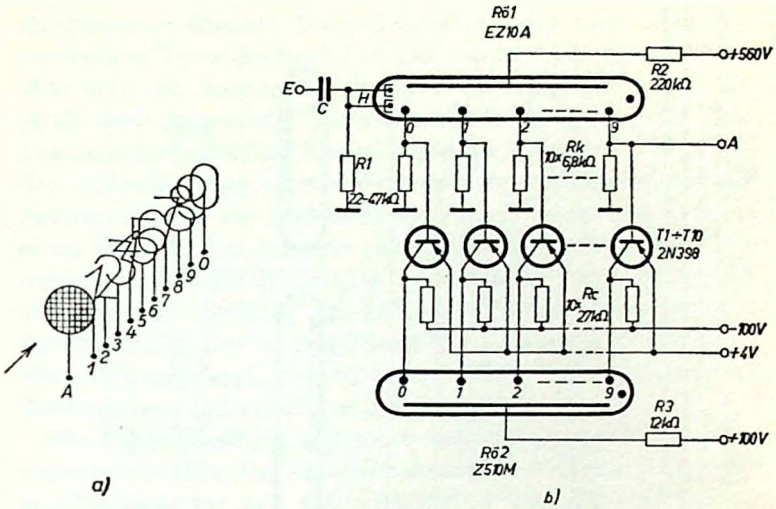


Abb. 12.3

Speichersystem eingeschaltet werden. Von ihm wird zur fraglichen Zeit der Zählerstand übernommen und festgehalten. Während der Zähler nun ohne Unterbrechung weiterschaltet, versorgt der Speicher die Anzeigeelemente mit Steuerspannungen, und der gespeicherte Wert kann beliebig lange zur Anzeige kommen.

Eine auf diese Weise arbeitende Schaltung ist in Abb. 12.4 dargestellt (56). Über den Eingang E und die Treiberstufe F wird ein Trochotron Rö2 gesteuert. Diese Anordnung bildet die eigentliche Zählstufe. Die Speisespannung für die Auffängerelektroden An wird vom Anodenwiderstand R1 der Röhre 1 abgegriffen. Soll nun die Stellung des Trochotrons zu irgendeiner Zeit erfaßt werden, so wird im entsprechenden Moment an den Eingang L ein kurzer positiver „Leseimpuls" gegeben. Dadurch öffnet sich die bis dahin gesperrte Röhre 1b und die Spannung an R1 sinkt ab. Die Dioden D1—D10 sperren, und der Strom durch die gerade in Funktion befindliche Auffängeranode des Trochotrons muß nun kurzzeitig seinen Weg über eine der Dioden D11—20 nehmen.

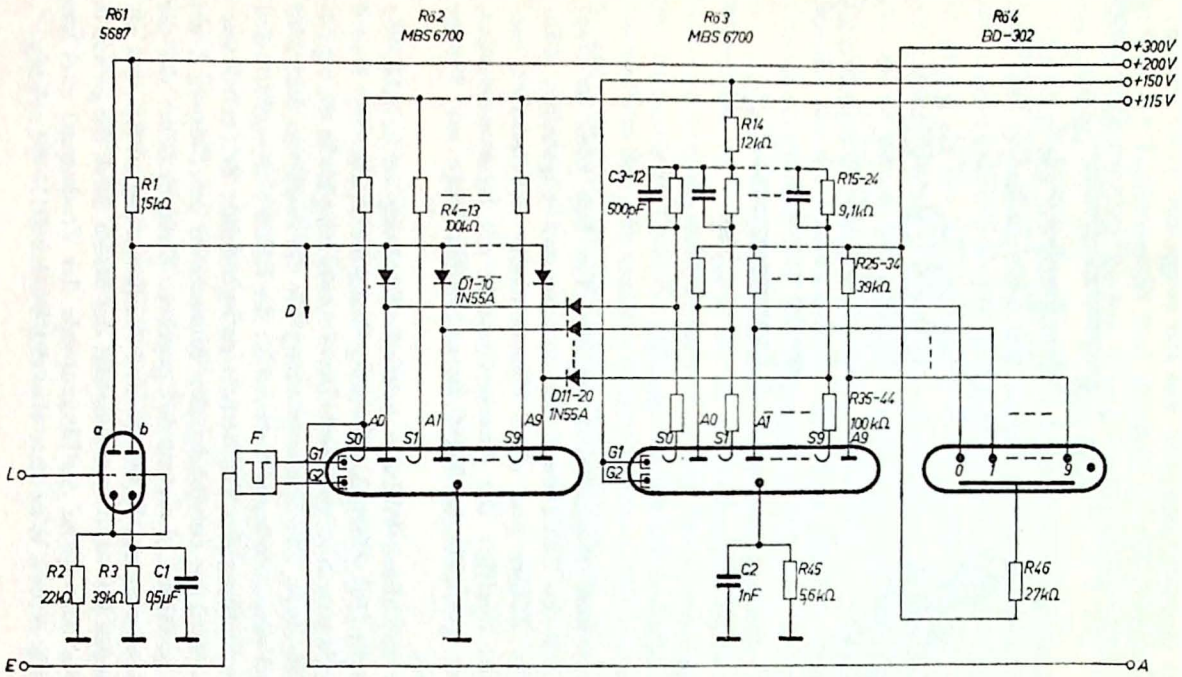

Röl
5687
Rö2
MBS 6700
Rö3
MBS 6700
Rö4
BD-302
+300V
+200V
+150V
+115V
R1
15kΩ
R4-13
100kΩ
D1-10
1N55A
D11-20
1N55A
D
R14
12kΩ
C3-12
500pF
R15-24
9,1kΩ
R25-34
39kΩ
R35-44
100kΩ
a
b
L
E
F
G1
G2
S0
S1
S9
A0
A1
A9
R2
22kΩ
R3
39kΩ
C1
0,5μF
C2
1nF
R45
5,6kΩ
R46
27kΩ
0
1
9
A

Abb. 12.4

An diese Diode ist ein zweites, als Speicher dienendes Trochotron angeschlossen. Seine Schirmelektroden haben einen gemeinsamen Vorwiderstand R14. Der während des Ableseimpulses über D11—20 kommende Stromstoß erniedrigt die an R14 liegende Schirmspannung. Dadurch wird die Formierung des Elektronenstrahles in Röhre 3 zerstört und der von einer vorhergehenden Ablesung gespeicherte Wert gelöscht. Gleichzeitig lädt der Stromstoß einen der Kondensatoren C3—C12 negativ auf. Wenn er am Ende des Leseimpulses abklingt, ist daher einer der Schirme weniger positiv als die anderen. Der Strahl formiert sich deshalb an dieser, der Stellung des Zählers im Ablesemoment entsprechenden Stelle. Der so gespeicherte Wert wird mit einer Ziffernröhre Rö4 angezeigt. Ihre Kathoden sind zu diesem Zweck an die Auffängeranoden der Röhre 3 angeschlossen.

Mit dieser Schaltung lassen sich Ablesezeiten von 20 μsec ohne weiteres erreichen. Bei kapazitätsarmem Aufbau können die Leseimpulse sogar bis zu 1 μsec verkürzt werden. Sollen gleichzeitig mehrere Dekaden abgelesen werden, so können diese über den Anschluß D ebenfalls von der Röhre 1 gesteuert werden.

13. Impulsformerschaltungen

13.1 Grundsätzliches

In der Regel sind die zu zählenden elektrischen Impulse in ihrer ursprünglichen Beschaffenheit nicht zur Steuerung von Zählschaltungen geeignet. Die Zählkreise verlangen Impulse von genau definierter — meist rechteckiger — Form mit konstanter Amplitude und oft auch konstanter zeitlicher Länge. Von den verschiedensten Signalquellen werden dagegen Impulse mit beliebiger Form und häufig auch mit stark schwankender Amplitude und

Dauer geliefert. Man muß daher zwischen den Signalgenerator und den Zählkreis einen sogenannten „Impulsformer" (oder auch „Impulsnormierer") einfügen. Mit diesen werden die ursprünglichen Signale so verformt, daß sie vom Zähler verarbeitet werden können.

13.2 Diodenbegrenzer

In vielen Fällen genügt es, durch eine einfache Begrenzung den Impulsen annähernd rechteckigen Verlauf mit konstanter Amplitude zu geben (57). Diese Methode ist anwendbar, wenn die Signale einigermaßen steile Flanken besitzen und ihre Amplitude einen gewissen Mindestwert mit Sicherheit nicht unterschreitet.

Die Schaltung eines solchen Begrenzers (Abb. 13.1a) ist einfach. Eine vorgespannte Diode wird oberhalb einer bestimmten Amplitude leitend und schneidet die Impulsspitzen ab. Bei sehr großen Flankensteilheiten kann sich dabei ein störender Effekt zeigen. Übliche Kristalldioden erreichen ihre volle Leitfähigkeit erst nach 10—100 nsec. Während dieser Zeit ist die Begrenzung noch nicht voll wirksam, und es entsteht daher am Anfang des Ausgangsimpulses eine nadelförmige Spitze. Abhilfe läßt sich mit der Schaltung nach Abb. 13.1b (57) schaffen. Die begrenzende Diode D2 ist hier in Reihe mit einem zusätzlichen aus R2 und C2 gebildeten Widerstand geschaltet. Seine Zeitkonstante ist so bemessen, daß der verzögerte Anstieg der Leitfähigkeit gerade kompensiert wird.

Häufig sind auch die über die Eigenkapazität der Dioden durchschlagenden Impulsflanken Ursache zu Störungen. Wie Abb. 13.1c zeigt, kann dieser Effekt mit einer zusätzlichen Röhre kompensiert werden (57).

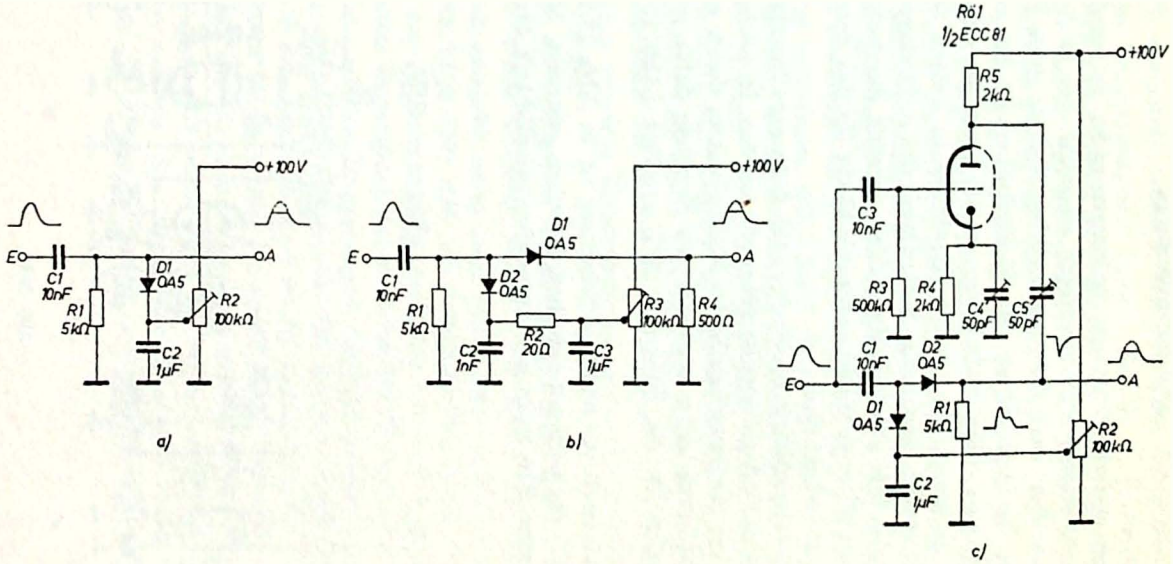

+100V
E
C1
10nF
R1
5kΩ
D1
OA5
R2
100kΩ
C2
1µF
A
a)
+100V
E
C1
10nF
R1
5kΩ
D1
OA5
D2
OA5
C2
1nF
R2
20Ω
C3
1µF
R3
100kΩ
R4
500Ω
A
b)
Röl
1/2ECC81
+100V
R5
2kΩ
C3
10nF
R3
500kΩ
R4
2kΩ
C4
50pF
C5
50pF
C1
10nF
D2
OA5
E
A
D1
OA5
R1
5kΩ
R2
100kΩ
C2
1µF
c)

Abb. 13.1

Genügen einfache Begrenzerschaltungen nicht, so werden mit Vorteil monostabile Multivibratoren eingesetzt. Sie sind immer dann anwendbar, wenn die ursprünglichen Signale steile Flanken aufweisen. Im Gegensatz zu den Diodenkreisen ist der erzeugte Ausgangsimpuls völlig unabhängig von der Form des steuernden Signales. Es kann nicht nur die Amplitude in weiten Grenzen eingestellt werden, sondern auch die Dauer des rechteckigen Ausgangssignales läßt sich beliebig wählen. Gerade das Letztere ist oft nötig, da die ursprünglichen Signale häufig für den Betrieb des Zählers viel zu kurz sind.

Multivibratorschaltungen werden auch dann gern benutzt, wenn andere als rechteckige Impulse gebraucht werden. In solchen Fällen wird der Ausgangsimpuls des Multivibrators durch entsprechende Netzwerke weiter verformt. Als Beispiele dafür seien die Treiberstufen für die Zählröhre E1T erwähnt (Abb. 10.2 und 10.3).

Eine universell verwendbare Schaltung ist in Abb. 13.2a dargestellt (57). Sie wird mit negativen Impulsen gesteuert. Mit dem Potentiometer R10 kann die Ansprechempfindlichkeit bis herab

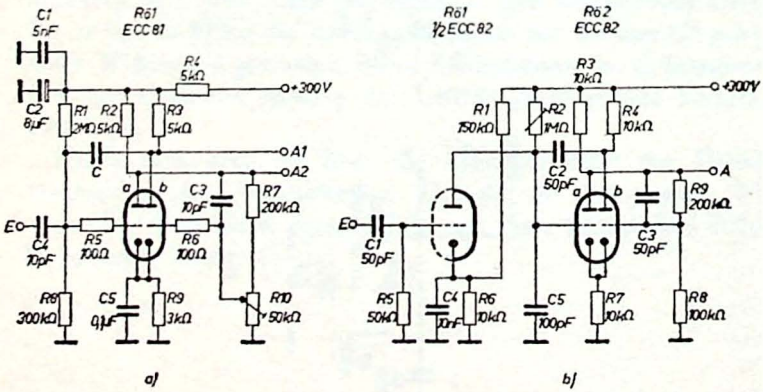


Abb. 13.2

zu 0,5 V eingestellt werden. Die Spannung der positiven oder negativen Ausgangssignale beträgt 60—80 V. Es werden Anstiegszeiten von 0,1—0,2 μsec erreicht. Die Dauer der Impulse ist durch die Größe des Kondensators C bestimmt. Im Minimum läßt sie sich bis zu etwa 0,5 μsec verkleinern.

Eine wesentliche Eigenschaft der Multivibratoren ist die in Abschnitt 3.5 beschriebene Erholzeit. Sie macht es unmöglich, den Multivibrator unmittelbar nach einem Kippimpuls erneut anzustoßen. Selbstverständlich läßt sich auch ein erneuter Anstoß während des Kippimpulses nicht vornehmen. Oft sind diese Eigenschaften erwünscht, da sich mit ihrer Hilfe die Auflösung einer Schaltung begrenzen läßt. Zwei Eingangsimpulse werden nur dann getrennt, wenn ihr Abstand größer als die gesamte so entstehende „Totzeit" ist. Durch Regelung der Impulsdauer des Multivibrators wird gleichzeitig auch die Totzeit regelbar. Allerdings arbeitet eine solche Schaltung nur dann einwandfrei, wenn die Amplitude der Steuerimpulse konstant ist. Gegebenenfalls muß daher vor dem Totzeitkreis ein weiterer Impulsformer eingefügt werden.

Durch ein zusätzliches Triodensystem kann die Erholzeit auf einfache Weise beseitigt werden. Von dieser Möglichkeit wird Gebrauch gemacht, wenn hohe Auflösungen erreicht werden sollen. Abb. 13.2b (57) gibt ein entsprechendes Schaltbeispiel. Die Anode der im Ruhezustand gesperrten Triode Röl ist direkt mit dem linken Steuergitter des monostabilen Multivibrators verbunden. Ein positiver Triggerimpuls am Eingang E öffnet Röhre 1 und sperrt das Röhrensystem 2a. Die Rückkopplung zwischen den beiden Systemen der Röhre 2 erfolgt sowohl von den Anoden zu den Gittern als auch über den gemeinsamen Kathodenwiderstand R7. Durch die Gleichstromkopplung der Röhre 1 kann der Multivibrator jederzeit unabhängig von seinem momentanen Zustand gesteuert werden. Die angegebene Dimensionierung der Zeitkonstante gilt für Impulsdauern im Mikrosekundenbereich.

13.4 Schmitt-Trigger

Voraussetzung für den Einsatz monostabiler Multivibratoren waren steile Flanken der ursprünglichen Impulse. Bei manchen Anwendungen ist diese Bedingung nicht erfüllt, und die Eingangsspannung verändert sich nur schleichend. Als Beispiel sei die Spannung an einer Photozelle genannt, deren Beleuchtung durch mechanische Blenden langsam verändert wird.

Eine geeignete Schaltung zur Umformung derartiger Signale ist der sogenannte „Schmitt-Trigger". Dieser Kreis ist einem Multivibrator sehr ähnlich. Seine beiden Zustände sind ebenfalls durch abwechselnde Leitung zweier Röhren gegeben. Der Umschlag erfolgt jedoch nur dann, wenn die Eingangsspannung einen gewissen Wert überschreitet oder einen zweiten Wert unterschreitet. Solange die Spannung jenseits einer dieser beiden Schwellen liegt, verharrt der Kreis im entsprechenden Zustand. Im Gegensatz zum Multivibrator ist die Dauer der Ausgangsimpulse daher nicht

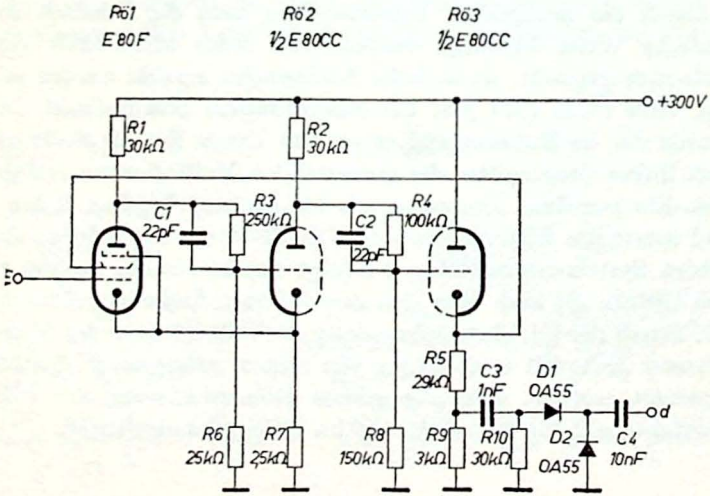


Abb. 13.3

durch den Kreis selbst, sondern durch die Form der Eingangssignale bestimmt.

Zwei einfache Schmitt-Trigger wurden bereits in den Zählschaltungen Abb. 9.2 und 9.3 gezeigt. Eine dritte, für die Zählröhre E1T geeignete Schaltung geht aus Abb. 13.3 hervor (43). Sie enthält zusätzlich eine dritte gleichstromgekoppelte Röhre 3, von deren Kathode ein weiterer Rückkopplungsweg zum Schirmgitter der Röhre 1 führt. Die Spannungen am Eingang E, bei denen der Umschlag erfolgt, liegen bei 9,3 V und 18,2 V.

13.5 Sperrschwinger

Sperrschwingerschaltungen eignen sich besonders gut zur Herstellung sehr kurzer normierter Impulse mit geringem Aufwand. Ein Sperrschwinger wird zum triggerfähigen Impulsformer, wenn die Gittervorspannung so stark negativ ist, daß der Kreis nicht mehr von selbst schwingen kann. Er kann so nur dann kippen, wenn ein Steuerimpuls die negative Vorspannung überwindet.

Ein Schaltbeispiel für extrem kurze Impulse von nur 60 nsec Halbwertsbreite ist in Abb. 13.4 dargestellt (57). Die Schaltung setzt sich aus zwei Sperrschwingern (Rö2 und Rö4) zusammen, die über eine Trennröhre Rö3 hintereinandergeschaltet sind. Ein positiver Eingangsimpuls an E bringt also Rö2 zum Ansprechen, und diese wiederum steuert Rö4. Am Widerstand R19 entstehen positive Impulse von etwa 15 V Amplitude.

Die außerordentlich geringe Impulsbreite von 60 nsec wird durch die Kaskadenschaltung erreicht. Auf diese Weise erhält Röhre 4 Triggerimpulse von der notwendigen Flankensteilheit. Für größere und damit unkritischere Impulsbreiten kann selbstverständlich auf die Kaskadenschaltung verzichtet werden. Bis herab zu 0,1 μsec genügen einfache Sperrschwingerschaltungen vollkommen.

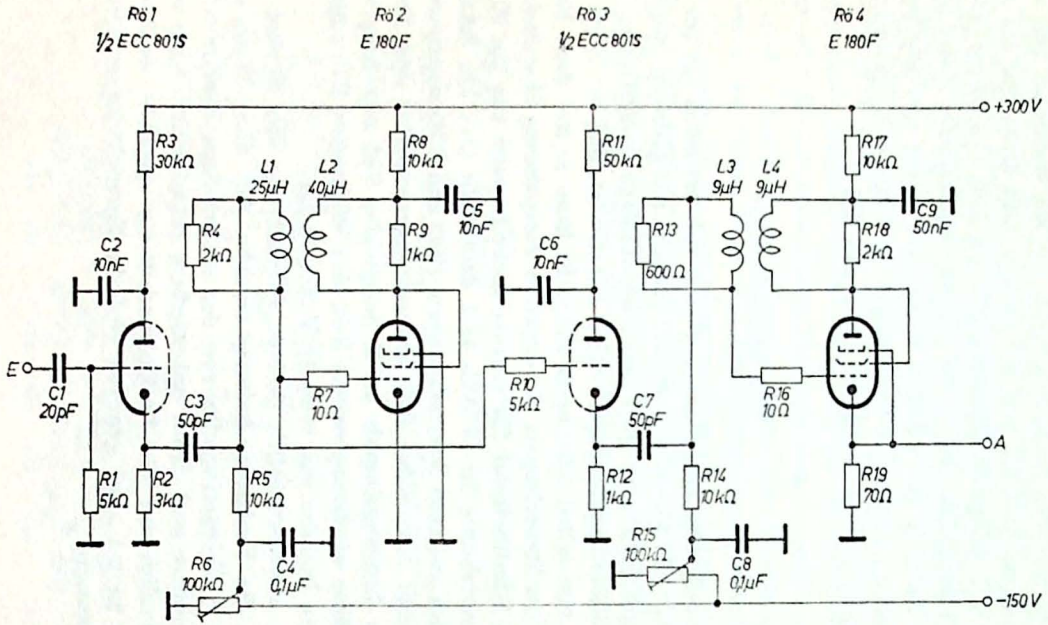

Rö 1
½ ECC 801S
Rö 2
E 180F
Rö 3
½ ECC 801S
Rö 4
E 180F
+300 V
R3
30kΩ
R8
10kΩ
R11
50kΩ
R17
10kΩ
L1
25µH
L2
40µH
L3
9µH
L4
9µH
C5
10nF
C9
50nF
R4
2kΩ
R9
1kΩ
R13
600Ω
R18
2kΩ
C2
10nF
C6
10nF
E
C1
20pF
C3
50pF
R7
10Ω
R10
5kΩ
C7
50pF
R16
10Ω
A
R1
5kΩ
R2
3kΩ
R5
10kΩ
R12
1kΩ
R14
10kΩ
R19
70Ω
R15
100kΩ
C8
0,1µF
R6
100kΩ
C4
0,1µF
−150 V

Abb. 13.4

13.6 Impulsdehner

Die bisher erläuterten Stufen erzeugten nicht nur eine einheitliche Impulsform, sondern sie normierten außerdem die Impulsamplitude. Bei vielen kernphysikalischen Messungen zum Beispiel ist aber gerade die Amplitude Träger einer wesentlichen Information, die nicht verlorengehen darf. Häufig sollen die Eingangssignale nach ihrer Amplitude sortiert werden und verschiedene Zähler speisen. Die Impulsformung muß sich dann auf die Erzeugung einer gewissen Impulsdauer beschränken, während die Amplitude erhalten bleiben muß. In der Regel ist eine Dehnung der Impulse erforderlich.

Am einfachsten läßt sich ein Impuls amplitudengetreu mit einem Integrierglied dehnen. In der Schaltung Abb. 13.5a lädt der Steuerimpuls den Kondensator C2 über die Diode Rö1 schnell auf, während die Entladung langsam über den einstellbaren Widerstand R1 geschieht. Nachteilig ist es dabei, daß der gedehnte Impuls keine Rechteckform erhält. Diese läßt sich mit einer Schaltung nach Abb. 13.5b (57) erzielen. Der Eingangsimpuls lädt auch hier einen Kondensator (C4) auf. Gleichzeitig stößt er aber einen monostabilen Multivibrator M an, der die Röhre 2 sperrt. Solange der Multivibrator nicht zurückkippt, kann sich daher C4 nicht entladen. Dies geschieht erst, wenn der Multivibrator wieder in die Ausgangsstellung zurückkehrt und sich

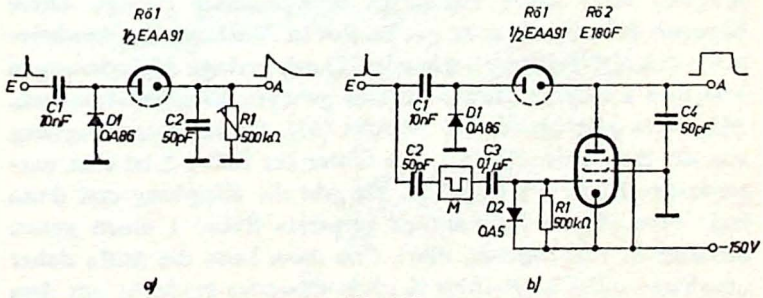


Abb. 13.5

Röhre 2 öffnet. Es entsteht auf diese Weise ein exakter Rechteckimpuls, dessen Länge von der Zeitkonstanten des Multivibrators abhängt.

14. Amplitudendiskriminatoren

Außer der Normierung der Steuersignale sind in bestimmten Anwendungsfällen — vor allem der Kernphysik — besondere Maßnahmen zur Auswahl von Impulsen erforderlich. Eine der häufigsten Aufgaben dieser Art ist die Sortierung der Impulse nach ihren Amplitudenwerten. Schaltungen, mit denen dies geschieht, tragen den Namen „Amplitudendiskriminatoren". Es sind Einkanal- und Vielkanal-Diskriminatoren zu unterscheiden. Erstere lesen aus der Menge der Impulse diejenigen aus, die innerhalb eines gewissen einstellbaren Amplitudenbereiches liegen. Vielkanalanlagen enthalten im Prinzip eine Anzahl parallel arbeitender auf verschiedene Amplituden eingestellte Einkanal-Diskriminatoren. Sie verteilen also die eintreffenden Impulse an Hand ihrer Amplituden auf verschiedene Ausgänge.

Das notwendige Grundelement aller Schaltungen zur Amplitudenunterscheidung ist ein Kreis, dessen Auslösung beim Überschreiten eines scharf definierten Schwellwertes erfolgt. Diese Eigenschaft ist bereits recht gut bei den in Abschnitt 13.4 beschriebenen Schmitt-Triggern vorhanden. Durch geringe Abänderungen entstehen aus ihnen Stufen mit sehr genauen Einsatzspannungen. Abb. 14.1a gibt hierfür ein Beispiel (57). In den Kopplungsweg von der Anode der Röhre 1 zum Gitter der Röhre 2 ist eine vorgespannte Diode D1 eingefügt. Sie gibt die Kopplung erst dann frei, wenn die im Ruhezustand gesperrte Röhre 1 einen genau bestimmten Anodenstrom führt. Erst dann kann die Stufe daher umschlagen. Die Einstellung des Schwellwertes geschieht mit dem

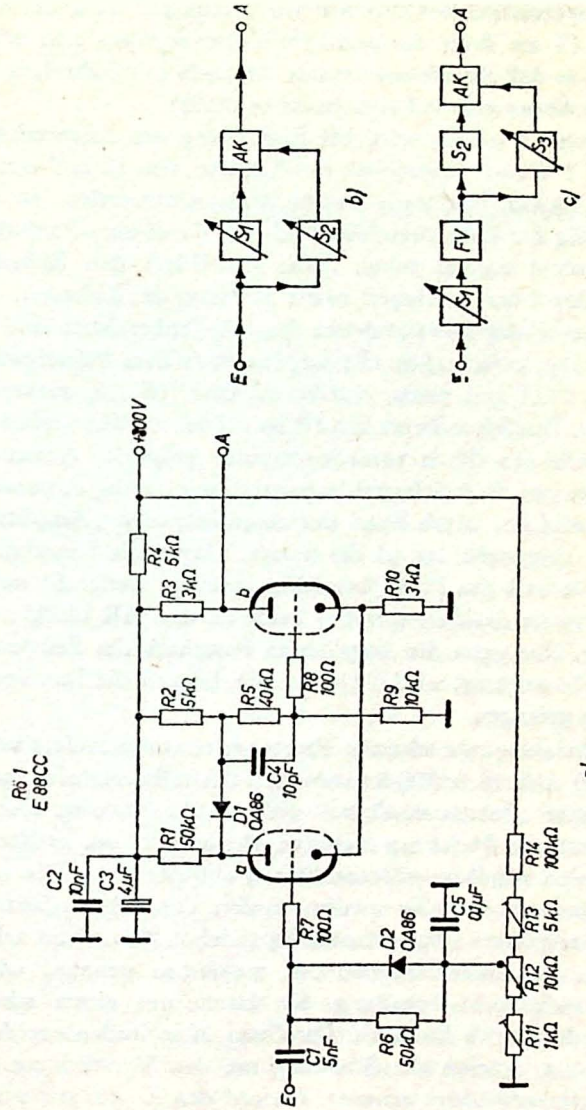

Rö 1
E 88CC
+300V
A
E
R1 50kΩ
R2 5kΩ
R3 3kΩ
R4 6kΩ
R5 40kΩ
R6 50kΩ
R7 100Ω
R8 100Ω
R9 10kΩ
R10 3kΩ
R11 1kΩ
R12 10kΩ
R13 5kΩ
R14 100kΩ
C1 5nF
C2 10nF
C3 4µF
C4 10pF
C5 0,1µF
D1 OA86
D2 OA86
a
b
a/
b/
c/
S1
S2
S3
AK
FV

Abb. 14.1

Präzisionspotentiometer R12. Mit der Diode D2 wird der Kondensator C1 am Ende des positiven Steuerimpulses sehr schnell entladen, so daß der nächste Impuls die Stufe mit Sicherheit wieder im Ruhezustand vorfindet (restorer diode).

Mit dieser Schaltung wird bei Einstellung der Ansprechspannung auf 2 V eine Genauigkeit des Einsatzes von 10 mV erreicht. Soll die Genauigkeit noch weiter verbessert werden, so wird zweckmäßig der Kathodenwiderstand R10 durch eine Pentode ersetzt (constant current tube). Diese stabilisiert den Ruhestrom durch Röhre 2 und verringert so die Streuung des Einsatzes.

Zur Aussiebung eines schmalen Amplitudenbereiches sind zwei dieser Stufen erforderlich. Sie werden nach dem Prinzipschema der Abb. 14.1b mit einem Antikoinzidenzglied AK zusammengeschaltet. Der Schwellwert von S2 ist größer als der von S1. AK wird durch von S2 kommende Impulse gesperrt. Andernfalls läßt es die von S1 gelieferten Impulse zum Ausgang A passieren. Mit S2 wird der obere Rand des auszusiebenden „Amplitudenfensters" eingestellt, mit S1 der untere. Liegen die Impulsamplituden unterhalb des Fensterbereiches, sprechen weder S1 noch S2 an. Liegen sie darüber, sprechen beide an und AK blockiert den Ausgang. Nur wenn die Amplituden innerhalb des Fensters liegen und S1 angeregt wird, S2 aber nicht, können die Impulse zum Ausgang gelangen.

Zur Erzielung sehr schmaler Fenster wird etwas anders verfahren. Nach Abb. 14.1c (57) kommen drei Schwellwertstufen und ein sogenannter „Fensterverstärker" FV zur Anwendung. Der Ansprechwert von S1 ist am kleinsten, der von S3 am größten. S1 und S3 sind regelbar, während S2 fest eingestellt ist. Die von S1 durchgelassenen Impulse werden um den Verstärkungsfaktor des Fensterverstärkers amplitudenmäßig gedehnt. S2 und S3 arbeiten mit dem Antikoinzidenzglied AK zusammen genauso wie die zuvor beschriebene Schaltung. Sie lassen nur einen schmalen Amplitudenbereich hindurch. Da dieser Amplitudenbereich aber gedehnt ist, arbeitet die Schaltung um den Verstärkungsfaktor des Fensterverstärkers genauer. Die auf den Eingangsimpuls bezogene Fensterbreite kann daher wesentlich exakter und schmaler

eingestellt werden. Von der Einstellung der Stufe S1 hängt es ab, in welcher Höhe das Fenster liegt.

15. Koinzidenz- und Torschaltungen

In den Schaltungen des Abschnittes 14 traten zwei als „Antikoinzidenzglieder" bezeichnete Stufen auf. Diese gehören zur großen Gruppe der Koinzidenzschaltungen, die in Verbindung mit Zählkreisen die vielfältigsten Anwendungen finden. Prinzipiell haben Koinzidenzstufen die Aufgabe, aus zwei über getrennte Eingänge eingespeisten Impulsreihen diejenigen Impulse auszuwählen, die zeitlich zusammentreffen. Umgekehrt soll eine Antikoinzidenzschaltung die zeitlich zusammenfallenden Impulse unterdrücken, alle anderen aber durchlassen.

Mit den Koinzidenzkreisen eng verwandt sind die Torschaltungen. Sie sind letzten Endes elektronische Schalter, mit denen die Zuleitung von Impulsen ein- und ausgeschaltet wird. Grundsätzlich kann jeder Koinzidenzkreis als Tor verwendet werden. Der einzige Unterschied liegt darin, daß die beiden Steuerimpulse einer Koinzidenzschaltung meist ungefähr gleiche Länge haben, während der Schaltimpuls eines Tores in der Regel wesentlich länger ist als die Impulse, die ein- oder ausgeschaltet werden.

Eine Zusammenstellung der wichtigsten Koinzidenzkreise findet sich in Abb. 15.1. In der Schaltung a werden die beiden Impulsreihen mit positiver Polarität den negativ vorgespannten Gittern einer Hexode zugeführt. Es kann nur Anodenstrom fließen und ein Ausgangsimpuls entstehen, wenn beide Gitter gleichzeitig positiv gesteuert werden. Bei entsprechender Dimensionierung ist dieser Kreis bis zu Schaltzeiten von einigen Nanosekunden benutzbar.

Eine ähnliche Doppelsteuerung läßt sich mit zwei Trioden-

systemen durchführen (Abb. 15.1b). Das linke Röhrensystem der Doppeltriode leitet erst dann und erzeugt einen Ausgangsimpuls, wenn sein Gitter einen positiven Impuls erhält und gleichzeitig die Spannung am Kathodenwiderstand durch einen negativen Impuls am Eingang E2 herabgesetzt wird. Ebenfalls mit einer Doppeltriode arbeitet der in Abb. 15.1c dargestellte Koinzidenzkreis (6). Solange nicht beide Röhren gleichzeitig gesperrt sind, leitet die Diode D1 und unterdrückt die Ausgangssignale.

Sollen Koinzidenzen zwischen mehr als zwei Impulsreihen erzeugt werden, so können mehrere der erwähnten Schaltungen hintereinandergeschaltet werden. Einfacher ist jedoch eine Anordnung nach Abb. 15.1d. Die Spannung am Anodenwiderstand R1 kann erst dann wesentlich ansteigen, wenn alle an die Eingänge En angeschlossenen Trioden gesperrt sind. In diesem Moment erhält die in Ruhe gesperrte Röhre n + 1 einen großen positiven Gitterimpuls, so daß an ihrer Anode ein negatives Koinzidenzsignal entsteht.

Eine ähnliche, mit Dioden bestückte Schaltung geht aus Abb. 15.1e hervor. Die Spannung am Ausgang A steigt erst dann an, wenn an allen Widerständen Rn positive Spannungen liegen. Solange das nicht der Fall ist, verhindern die auf Nullpotential liegenden Dioden die Spannungserhöhung.

Abb. 15.1f schließlich zeigt eine ausgesprochene Torschaltung (6). Es handelt sich hier um ein sogenanntes „lineares Tor", durch das die zu schaltenden Impulse auf ihrem Wege vom Eingang E1 zum Ausgang keine Amplitudenveränderungen erfahren. Der positiv gerichtete Einschaltimpuls wird über den Eingang E2 zugeführt.

Mit den beschriebenen Anordnungen sind die Möglichkeiten der Koinzidenzerzeugung nicht erschöpft. Es werden außerdem analoge Schaltungen mit Transistoren benutzt. Auch transversalgesteuerte Elektronenstrahlröhren wie z. B. die Röhre E80T können für diese Zwecke eingesetzt werden. Und schließlich sind Brückenschaltungen bekannt, die den Vorteil einer guten Unterdrückung der nicht koinzidenten Signale aufweisen.

Auf Antikoinzidenzkreise braucht nicht gesondert eingegangen

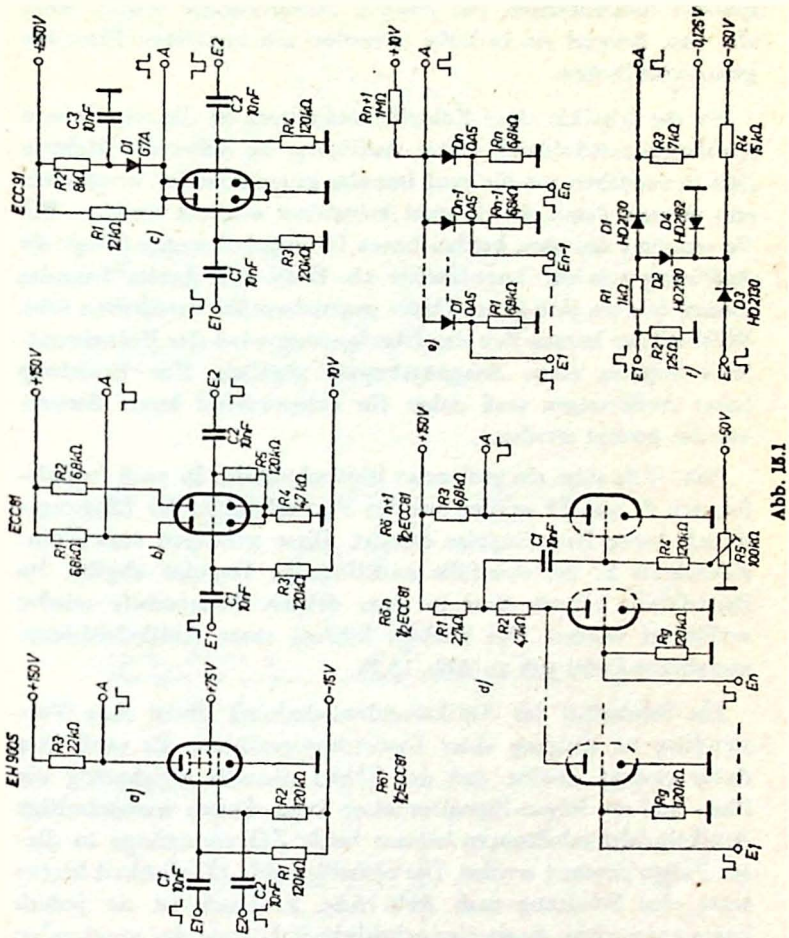


Abb. 15.1

zu werden. Prinzipiell kann jeder Koinzidenzkreis zu einer Antikoinzidenzanordnung umgewandelt werden. Man muß dazu nur die Polarität des einen Steuerimpulses umkehren und den entsprechenden Arbeitspunkt verschieben. Aus einem in Ruhe ge-

sperrten Röhrensystem, das positive Steuerimpulse erhält, wird also zum Beispiel ein in Ruhe leitendes, mit negativen Signalen gesteuertes System.

Für die Qualität einer Koinzidenzschaltung ist die erreichbare Auflösung entscheidend. Unter Auflösung ist dabei die kleinste Zeit zu verstehen, um die zwei Impulse gegeneinander verschoben sein müssen, damit sie als nicht koinzident erkannt werden. Bei Verwendung der oben beschriebenen Grundschaltungen hängt die Auflösung von der Impulsbreite ab. Zwei sehr breite Impulse können fast um ihre ganze Dauer gegeneinander verschoben sein. Während der kurzen Zeit der Überlappung wird der Koinzidenzkreis trotzdem einen Ausgangsimpuls abgeben. Zur Erzielung hoher Auflösungen muß daher für entsprechend kurze Steuerimpulse gesorgt werden.

Abb. 15.2a zeigt ein geeignetes Blockschaltbild. In zwei Impulsformern F1 und F2 werden aus den Vorderflanken der Eingangssignale kurze Nadelimpulse erzeugt. Diese gelangen zum Koinzidenzkreis K, der ebenfalls nadelförmige Impulse abgibt. Im Bedarfsfalle können diese in einer dritten Formerstufe wieder verlängert werden. Das analoge Schema einer Antikoinzidenzanordnung findet sich an Abb. 15.2b.

Ein Sonderfall der Antikoinzidenzschaltung bildet ihre Verwendung im Eingang eines Zweirichtungszählers. Es muß hier dafür gesorgt werden, daß der Zähler niemals gleichzeitig ein Plus- und ein Minus-Signal erhalten kann. Durch wechselseitige Antikoinzidenzschaltungen müssen beide Zählereingänge in diesen Fällen gesperrt werden. Die nächstliegende Möglichkeit hierzu wäre eine Schaltung nach Abb. 15.2c. Praktisch ist sie jedoch kaum anwendbar, da sie eine erhebliche Erhöhung der maximalen Zählgeschwindigkeit verlangt. Wird nämlich angenommen, daß die Impulse an den Eingängen E1 und E2 der Maximalgeschwindigkeit entsprechende Dauer haben, so würden zwei aus ihren Vorderflanken erzeugte nicht koinzidente Nadelimpulse einen Abstand besitzen, der einer mehrfach höheren Geschwindigkeit entspricht.

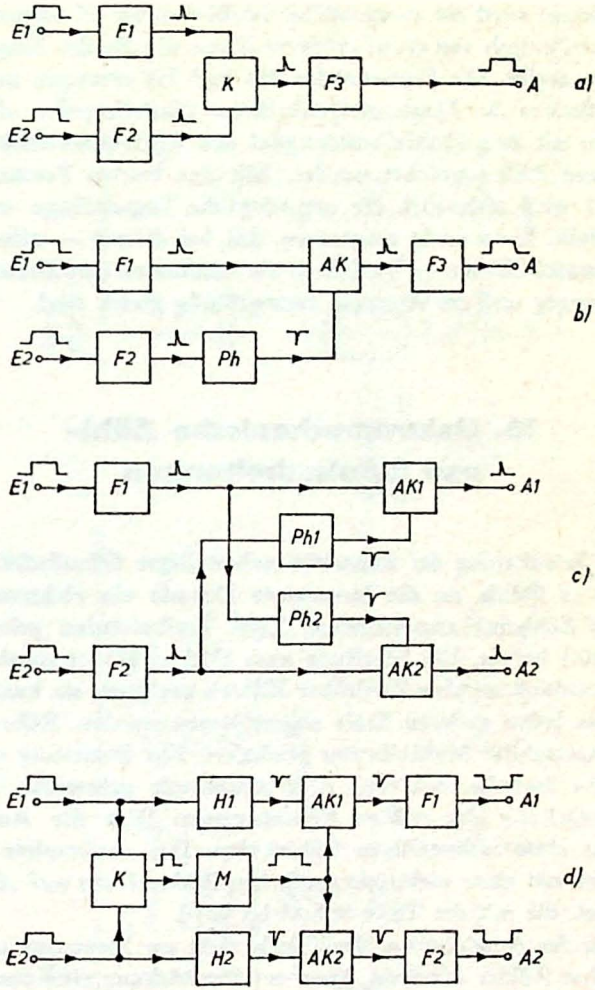


Abb. 15.2

Besser geeignet ist die Schaltung nach Abb. 15.2d. Die beiden Eingangsimpulse werden einem Koinzidenzglied K zugeführt.

Von diesem wird ein monostabiler Multivibrator M angestoßen, der einen Impuls von etwas größerer Dauer als die der Eingangsimpulse abgibt. Die Formerstufen H1 und H2 erzeugen aus den Hinterflanken der Eingangssignale kurze Nadelimpulse, die zusammen mit dem Multivibratorsignal den Antikoinzidenzkreisen AK1 und AK2 zugeführt werden. Mit den beiden Formern F1 und F2 wird schließlich die ursprüngliche Impulslänge wiederhergestellt. Es ist leicht einzusehen, daß bei diesem — allerdings etwas umständlichen — Verfahren die minimalen Impulsabstände am Eingang und am Ausgang zwangsläufig gleich sind.

16. Elektromechanische Zähl- und Relaisschaltungen

Zur Erweiterung der Kapazität mehrstelliger dekadischer Zähler ist es üblich, an die langsamste Dekade ein elektromechanisches Zählwerk anzuschließen. Zwei Treiberstufen gehen aus Abb. 16.1 hervor. Die Schaltung nach Bild a (37) ist speziell für den Anschluß an eine Zählröhre EZ10A geeignet, sie kann aber auch an jeden anderen Kreis angeschlossen werden. Röhre 1 ist als monostabiler Multivibrator geschaltet. Zur Steuerung werden negative Impulse von etwa 5 V Amplitude gebraucht. In der Anodenleitung des rechten Röhrensystems liegt der Antriebsmagnet eines sechsstelligen Zählwerkes. Das verwendete Zählwerk ist mit einer elektromagnetischen Rückstellung auf „0“ ausgerüstet, die mit der Taste R betätigt wird.

Falls der Anodenstrom der Triode nicht zur Steuerung unempfindlicher Zähler ausreicht, kann zur Verstärkung eine zusätzliche Endpentode angeschlossen werden. Einfacher ist es in diesem Fall jedoch, eine Schaltung nach Abb. 16.1b zu benutzen (43). Durch einen positiven Steuerimpuls wird hier ein Thyratron gezündet, das einen kräftigen Stromstoß durch den Zähler Z erzeugt.

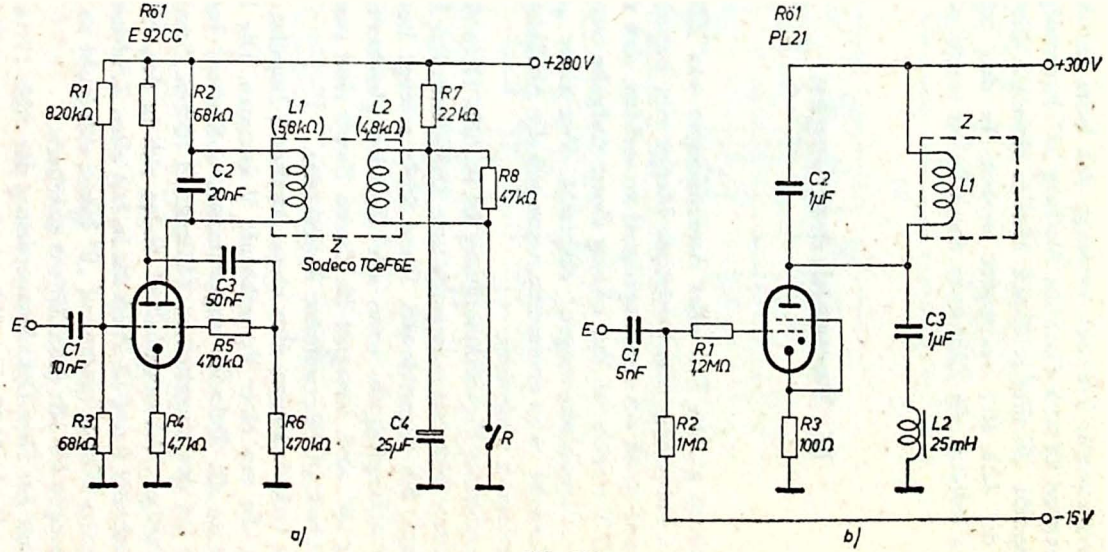

Röl
E92CC
+280V
R1
820kΩ
R2
68kΩ
L1
(56kΩ)
L2
(4,8kΩ)
R7
22kΩ
C2
20nF
R8
47kΩ
Z
Sodeco TCeF6E
C3
50nF
E
C1
10nF
R5
470kΩ
R3
68kΩ
R4
4,7kΩ
R6
470kΩ
C4
25μF
R
a)
Röl
PL21
+300V
Z
C2
1μF
L1
E
C1
5nF
R1
1,2MΩ
C3
1μF
R2
1MΩ
R3
100Ω
L2
25mH
-15V
b)

Abb. 16.1

Häufig wird, wie zum Beispiel bei der nachfolgend besprochenen Komplementär-Vorwahl, verlangt, daß beim Durchgang des elektronischen Zählers durch die Stellung „0“ kurzzeitig ein Relais anspricht. Zu diesem Zweck können ebenfalls die Treiberstufen der Abb. 16.1 verwendet werden. In den Schaltungen brauchen lediglich die Zählwerke durch Relais ersetzt zu werden.

17. Vorwahlschaltungen

Bei einem großen Teil aller Anwendungen von Zählern besteht die Forderung, eine bestimmte Menge von Impulsen abzuzählen und durch ein Ausgangssignal zu melden, daß die eingestellte Zahl erreicht ist. Zur Lösung dieser Aufgabe werden sogenannte „Vorwahlschaltungen“ eingesetzt. Von einer „automatischen Vorwahl“ wird gesprochen, wenn sich die Abzählung selbsttätig periodisch wiederholt.

Die einfachste Vorwahlanordnung ist in Abb. 17.1a dargestellt. An mehrere hintereinandergeschaltete Dekadenstufen D ist eine Schaltstufe Sch angeschlossen. Diese Stufe erzeugt immer dann einen Ausgangsimpuls, wenn alle Dekaden gleichzeitig in der Stellung „0“ sind. Geeignet für diesen Zweck sind zum Beispiel die in Abschnitt 16 erwähnten Relaiskreise.

Jeder Dekade können über einen Schalter S Impulse zugeführt werden, die von einer Vorwahlstufe V kommen. Die Schalter S sind so an die Dekaden angeschlossen, daß diese Impulse die Dekade auf den eingestellten Zählerstand rücken. Schaltbeispiele für derartige „Vorwahlschalter“ finden sich in den Abbildungen der Abschnitte 9 und 10. Auch die in fast allen Zählerschaltungen enthaltenen Rückstellungen auf „0“ lassen sich leicht zu Vorwahleinrichtungen für alle zehn Ziffern erweitern.

Soll mit der Drei-Dekadenanordnung der Abb. 17.1a zum Beispiel die Zahl „715“ abgezählt werden, so müssen die Vorwahl-

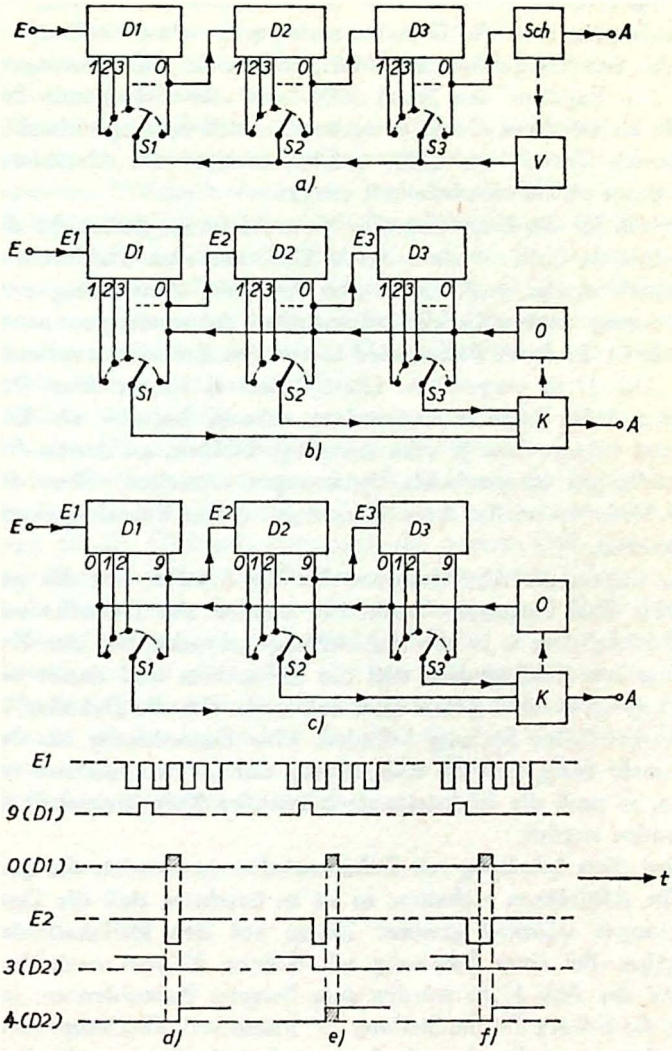

E
D1
D2
D3
Sch
A
1 2 3 0
S1
S2
S3
V
a)
E1
E2
E3
O
K
b)
0 1 2 9
c)
E1
9 (D1)
0 (D1)
E2
3 (D2)
4 (D2)
t
d)
e)
f)

Abb. 17.1

schalter in die zur maximalen Zählkapazität 1000 komplementäre Stellung „285“ gebracht werden. Durch Tastendruck erzeugt V einen Impuls, und die Dekaden springen in diese Stellungen. Werden nun Zählimpulse zugeführt, so erreicht die Anordnung nach 715 Impulsen den Stand „000“ und der Schaltkreis Sch spricht an. Ist V mit diesem so verbunden, daß dabei gleichzeitig wieder die Vorwahl auf „285“ erfolgt, so kann die Abzählung ohne Pause periodisch wiederholt werden.

Typisch für die komplementäre Vorwahl ist es, daß nicht die abzuzählende Zahl, sondern deren Differenz zum Zählerstand eingestellt werden muß. Es ist also vor jeder Einstellung eine Umrechnung notwendig, die bei manchen Anwendungen unerwünscht ist. In diesen Fällen wird besser eine Koinzidenzvorwahl nach Abb. 17.1b vorgesehen. Die Schalter S führen hier den Dekaden keine Impulse zu, sondern nehmen Impulse ab. Die Dekaden müssen dazu je zehn Ausgänge besitzen, an denen den Zählstellungen entsprechende Spannungen entstehen. Über die Vorwahlschalter werden diese Spannungen einem Koinzidenzkreis K zugeführt.

Vor Beginn der Abzählung werden die Schalter auf die gewünschte Zahl eingestellt. Außerdem werden alle Dekaden mit der Rückstellstufe 0 in die Nullstellung gebracht. Bei der Zuführung von Zählimpulsen tritt die Koinzidenz und damit ein Ausgangssignal an A genau dann auf, wenn sich die Dekaden in der vorgewählten Stellung befinden. Eine Umrechnung ist also nicht mehr nötig. Soll die Rückstellung auf „0“ automatisch erfolgen, so muß die Rückstellstufe 0 mit der Koinzidenzstufe K verbunden werden.

Wird diese Schaltung mit Dekadenstufen verwendet, die gasgefüllte Zählröhren enthalten, so ist zu beachten, daß die Gasentladungen während gewisser Zeiten auf den Hilfskathoden verweilen. Bei einer Schaltung mit Röhren EZ10A nach dem Schema der Abb. 17.1b würden zum Beispiel Koinzidenzen, bei denen die Dekade D1 die Stellung „0“ haben soll, überhaupt nicht zustandekommen. Das Impulsschema nach Abb. 17.1d macht diese Erscheinung deutlich. Es sind hier untereinander die Eingangs-

impulse E1, die Spannungen an den Kathoden 9 und 0 der ersten Dekade, die Hilfskathodenimpulse E2 der zweiten Dekade und die Spannungen an den Kathoden 3 und 4 der zweiten Dekade dargestellt. Die Vorwahlschalter S1 und S2 sollen sich in den Stellungen „0“ und „4“ befinden.

Sowie die Entladung der ersten Röhre auf Kathode 0 angekommen ist, erzeugt die Treiberstufe der zweiten Dekade einen negativen Hilfskathodenimpuls. In der zweiten Zählröhre springt die Entladung jetzt von Kathode 3 zur benachbarten Hilfskathode. Erst wenn der Hilfskathodenimpuls beendet ist, kommt sie zur vorgewählten Stellung „4“. Zu dieser Zeit ist die Entladung in der ersten Röhre aber bereits weitergeschaltet worden und wieder von Kathode 0 verschwunden. Die vorgewählte Koinzidenz 0—4 ist überhaupt nicht aufgetreten.

Dieser Effekt läßt sich vermeiden, wenn die Steuerung der Dekaden D2 und D3 nicht mit den positiven Impulsen der Kathoden 0 erfolgt, sondern nach Abb. 17.1c mit den Hinterflanken der Impulse von Kathode 9. Wie das Impulsschema Abb. 17.1e zeigt, ist der Hilfskathodenimpuls der zweiten Dekade dann bereits beendet, wenn die Entladung in der ersten Röhre auf Kathode 0 ankommt. Zu dieser Zeit zündet aber auch Kathode 4 der zweiten Dekade, und die beiden Stellungen „0“ und „4“ können koinzidieren. Es muß dabei aber beachtet werden, daß die Hilfskathodenimpulse aller Dekaden nicht länger sind als die der ersten Dekade. Andernfalls käme die Entladung in der zweiten Röhre wiederum zu spät in die vorgewählte Stellung (Abb. 17.1f) und die Koinzidenz wäre unmöglich.

18. Literatur- und Quellenverzeichnis

1. J. Millman and H. Taub: „Pulse and Digital Circuits"
   McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1956
2. W. Dillenburger: „Einführung in die deutsche Fernsehtechnik"
   Fachverlag Schiele & Schön, Berlin SW 29, 1953
3. F. Kerkhof und W. Werner: „Fernsehen"
   Philips' Technische Bibliothek, 1951
4. G. Merz: „Quarzoszillatoren in Prüffeldern und Laboratorien"
   Elektronik 6, 204, 1957
5. R. Kocaurek: „Der Spektrumsgenerator"
   Elektronik 5, 44, 1956
6. W. Gruhle: „Impulstechnik in der Atomphysik"
   Elektronik 8, 217, 1959
7. A. Rose: „Magnetic-Core Divider for ITV Sync Generators"
   electronics 31, 76, April 11 1958
8. H. A. Manoogian: „Simple Sync Circuits Time ITV Systems"
   electronics 30, 174, March 1957
9. J. C. Manley and E. F. Buckley: „Neon Diode Ring Counter"
   electronics 23, 84, Jan. 1950
10. K. H. Rumpf: „Bauelemente der Elektronik"
    VEB Verlag Technik, Berlin, 1959
11. W. A. Mayerhofer: „Die Vierschichtdiode — ein bistabiler Halbleiter-Zweipol"
    Elektronische Rundschau 13, 51, 1959
12. Elesta-Schaltempfehlungen, Elesta AG, Bad Ragaz, Schweiz, Nr. 17. 16. 12, Ausgabe 9. 58
13. R. F. Staritz: „Die Umwandlung elektrischer Meßgrößen in Digitalwerte"
    Elektronik 8, 265, 1959
14. A. W. Carlson: „Ring Counter Has Increased Count Capacity"
    electronics 31, 89, April 11 1958
15. R. Weissmann: „Stable Ten-Light Decade Scaler"
    electronics 22, 84, May 1949
16. A. Haidekker: „Transistorbestückte Zählschaltungen mit Sichtanzeige"
    Elektronik 7, 211, 1958
17. A. T. Starr: „Radio- and Radar-Technique"
    Sir Isaac Pitman and Sons Ltd., London, 1953
18. E. Keonjian and J. J. Suran: „Unijunction Transistor Forms Flip-Flop"
    electronics 30, 165, Sept. 1957

19. T. P. Sylvan: „Bistable Circuits Using Unijunction Transistors"
electronics 31, 89, Dec. 1958
20. Anonym: „150 kHz-Zähldekade mit 4 Doppeltrioden und dekadischer Anzeige
Funktechnik 9, 444, 1954
21. E. L. Kemp: „Gated Decade Counter Requires No Feedback"
electronics 26, 145, Febr. 1953
22. T. L. Martin: „Electronic Circuits"
Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J., 1955
23. D. E. Cottrell: „Binary-Decimal Counter Operates at 10 Mc"
electronics 30, 186, Nov. 1 1957
24. H. J. Weber: „Binary Circuits Count Backwards or Forwards"
electronics 32, 82, Sept. 25 1959
25. R. Weissman: „High-Speed Counter Uses Ternary Notion"
electronics 25, 118, Oct. 1952
26. R. C. Bacon and J. R. Pollard: „The Dekatron"
Electronic Engg. 22, 173, May 1950
27. J. H. L. McAsulan and K. J. Brimley: „Poly-cathode Counter Tube Application"
electronics 26, 138, Nov. 1953
28. P. Cheilik: „Glow Transfer Tubes for Counting"
Tele-Tech. 13, 84, Dec. 1955
29. E. K. Aschmoneit: „Die Dekatronröhren, gasgefüllte Zählröhren mit symmetrischen Kathoden"
Elektronik 5, 301, 1956
30. E. F. Weller, N. W. Schubring and M. E. Fitch: „Counter Circuits Analyze Ignition"
electronics 30, 150, May 1 1957
31. K. Pfaff: „Elektronische Zähler für Frequenz- und Kurzzeitmessungen"
Elektronik 7, 305, 1958
32. H. Sadowski and M. E. Cassidy: „How Transistor Drives Cold-Cathode Counter"
electronics 32, 46, Sept 18 1959
33. H. A. Kampf: „Increasing Counting System Reliability"
electronics 32, 112, Sept. 11 1959
34. J. R. Acton: „The Single Pulse Dekatron"
Electronic Engg. 24, 48, Febr. 1952
35. Unterlagen der Etelco Ltd.
22 Lincoln's Inn Fields, London W.C. 2
36. H. L. v. Gugelberg: „Eine neue dekadische Zählröhre mit kalten Kathoden"
Helv. Phys. Acta 26, Fasciculus sextus, 1953
37. Technische Mitteilungen der Elesta AG, Bad Ragaz, Schweiz
Nr. 14, Januar 1960
38. K. Apel and P. Berweger: „Miniature Gas-Filled Tubes for High-Speed Counting"
electronics 33, 46, Febr. 19 1960

39. Unterlagen des Philips Electronic Market Department: „ElT Decade Counter Tube“ (Revised Edition)
40. van Overbeck, Jonker und Rodenhuis: „Eine Dezimalröhre für hohe Zählgeschwindigkeiten“ Philips Technische Rundschau 14, Juni 1953
41. R. E. Nather: „High Speed Counting with One-Tube Decades“ electronics 27, 174, Oct. 1954
42. R. Kretzmann: „Handbuch der industriellen Elektronik“ Verlag für Radio-, Foto- und Kinotechnik, Berlin-Borsigwalde, 1954
43. R. Kretzmann: „Schaltungsbuch der industriellen Elektronik“ Verlag für Radio-, Foto- und Kinotechnik, Berlin-Borsigwalde, 1954
44. Frühauf: „Eine elektronische Wähl- und Zähleinrichtung“ Nachrichtentechnik H. 1, 1952
45. J. Björkman and L. Lindberg: „Development of Trochotrons“ Trans. Roy. Inst. Technol., Stockholm, No. 80, 1954
46. Steinbeck: „Koaxialtrochotron als Impulszähler“ Ericson Review H. 1, 1954
47. Sin-Pih Fan: „The Magnetron Beam Switching Tube“ Jour. Brit. IRE 7, 1955
48. S. Kuchinsky: „The Magnetron Beam Switching Tube — a New Concept in Vacuum Devices“ Burroughs Corporation paper, Plainfield, N. J. 1955
49. R. F. Staritz: „Elektronenstrahl-Schaltröhren für Verteil- und Zählaufgaben“ Elektronische Rundschau 13, 245, 1959
50. J. F. Lyons: „Analyzing Multipath Delay in Communications Studies“ electronics 32, 52, Sept. 4. 1959
51. R. W. Wolfe: „Decade Decimal Counter Speeds Printed Readout“ electronics 31, 88, Jan. 17 1958
52. Unterlagen der I.D.E.A., Inc., Indianapolis, Electronic Equipment Division
53. W. Gundelach: „Digitales Einzeilen-Anzeigegerät“ Elektronische Rundschau 11, 325, 1957
54. Technische Informationen für die Industrie der Valvo G.m.b.H., Hamburg 1, Heft 65s
55. Anonym: „Glimmlicht-Ziffern-Anzeigeröhren“ Elektronische Rundschau 13, 137, 1959
56. R. Winfield, D. H. Andrews and M. Turntine: „Electronic Clock Reades Related Time-of-Events“ electronics 31, 74, Febr. 28 1958
57. W. Gruhle: „Impulstechnik in der Atomphysik“ Elektronik 7, 250, 1958; 7, 286, 1958; 7, 351, 1958

Weitere Literaturstellen im großen Teil der angeführten Arbeiten.

19. Sachregister

Ablesung (s. auch Anzeige) 110
elektrische — 110
optische — 111
speichernde — 116, 119
Amplitudendiskriminatoren 128
Amplitudenfenster 130
Antikoinzidenz-
schaltungen 131, 132
Anzeige 111
— mit Flutlichtziffern 112
— mit Lampenfeldern 42, 46, 55, 111
— mit Meßinstrumenten 31, 56, 113
— mit Ziffernanzeige-
röhren 114
— mit Ziffernprojektoren 112
— mit zusammengesetzten Ziffern 114
Astabiler Multivibrator 18
Autosynchronisation 22
Begrenzer 120
Bi-directional Computing Tube 78
Binäre Zählschaltungen 49
Dekadenschaltung von — 52
— für höchste Geschwindigkeiten 58
— mit Impuls-
rückführung 52, 55
— mit Impulstoren 54, 56
— mit Transistoren 56
richtungsumkehrbare — 62
Zählkapazität von — 52, 54
Bistabiler Multivibrator 49
(s. auch Multivibrator)
Constant current tube 130
Counter tubes 70
Dekatron 68
— für Einfachpulse 78
Dekatron-Schaltungen 68
— mit Relaisröhren 73
— mit Transistoren 75
— mit Trioden 73
richtungsumkehrbare — 73, 77
Digitron 114
Diodenbegrenzer 120
Dyadisches Zahlensystem 52
Dyadische Zählschaltungen 49
(s. auch binäre Zählschaltungen)
Einfachpuls-Dekatron 78
Einkanal-Diskriminatoren 128
Elektromechanische Zählwerke 136
Erholzeit 25, 123
EZ10 82
EZ10A 84, 87
EZ10B 89
EZ10-Schaltungen 82
— für 1 MHz 89
— mit Röhren 84
— mit Transistoren 87
E1T 91
Kennlinie der — 92
Steuerimpuls der — 94
Richtungsumkehr der — 95
Rückstellung der — 94
E1T-Zählschaltungen 91
— für 10 kHz 98

— für 30 kHz 95
— für 100 kHz 96
Fensterverstärker 130
Flip-Flop 49
(s. auch Multivibrator)
Flip-Flop-Zählschaltungen 49
(s. auch binäre Zählschaltungen)
Frequenzteiler 16
(s. auch selbstschwingende Zählschaltungen)
Haltetriode 30
Impulsdehner 127
Impulsformerschaltungen 119
— mit Multivibratoren 122
— mit Schmitt-Triggern 86, 87, 124
— mit Sperrschwingern 125
Impulsrückführung 52, 54, 55
Impulsteiler 16
(s. auch selbstschwingende Zählschaltungen)
Inditron 114
Integrierende Zählschaltungen 25
— mit Dioden 28
— mit Magnetkernen 32
— mit Pentoden 27
Stabilisierung von — 28
Kaltkathodenröhren 37
Koinzidenzschaltungen 131
Auflösung von — 134
— für Mehrfachkoinzidenzen 132
— für Zweirichtungszähler 134
— mit Dioden 132
— mit Doppeltrioden 132
— mit Hexoden 131
Koinzidenzvorwahl 140
Komplementärvorwahl 140
Magnetron beam switching tube 102
Magnet-Zählschaltung 32
Mehrfachkoinzidenz 132
Monostabiler Multivibrator 24
(s. auch Multivibrator)
Multivibrator
astabiler — 18
bistabiler — 42, 49, 56, 58, 67, 105, 108
Erholzeit von — 25, 123
Gittervorspannung
bistabiler — 50
monostabiler — 24, 28, 76, 86, 89, 96, 98, 122, 136
Steuerung bistabiler — 49
Nixie-Röhre 114
Oder-Tor 64
Polykathodenröhren 70
— mit schrägen Kathoden 82
symmetrische — 70
Zündspannung von — 72
Relaisröhren 37
Relaisschaltungen 136
Restorer diode 130
Ringzähler 33
Definition der — 33
— mit bistabilen Multivibratoren 42, 46
— mit Glimmröhren 34
— mit Relaisröhren 37
— mit Transistoren 46
— mit Trioden 39
— mit Unijunction-Transistoren 46
— mit Vierschichtdioden 34
vielstellige — 42
Rückwärtszählende Schaltungen
— mit bistabilen Multivibratoren 62
— mit Dekatrons 77
— mit E1T 95

— mit Relaisröhren 39
Schmitt-Trigger 86, 87, 124, 128
Schwellwert-Schaltung 128
Selbstschwingende Zählschaltungen 16
Eigenfrequenz von — 18
Frequenzbereich von — 18
Frequenzstabilität von — 20
Frequenzsteuerung von — 22
— mit astabilen Multivibratoren 18
— mit monostabilen Multivibratoren 24
— mit Sperrschwingern 22
Teilverhältnis von — 20
Selector-Tubes 70
Single-Pulse-Dekatron 78
Schaltung des — 80
Sperrschwinger 22, 125
Kaskadenschaltung von — 125
Synchronisierung 16, 18
Teilerschaltungen 16
(s. auch selbstschwingende Zählschaltungen)
Teilverhältnis 20
Amplitudenabhängigkeit des — 22
maximales — 22
Vergrößerung des — 22
Ternäres Zahlensystem 67
Ternäre Zählschaltungen 67
Tor 54, 56, 64, 132
lineares — 132
Totzeit 123
Transistorzählschaltungen 46, 56
Transitron 17
Trägheit von Dioden 120
Trochotron 100
Kennlinie des — 104
Strahleinfang im — 104
Vorwahl des — 105, 106, 108
Trochotron-Zählschaltungen 100
— für 1 MHz 105
— mit elektronischer Rückstellung 108
— mit Speicherung 119
Und-Tor 54, 64
Unijunction-Transistor 46
Vielkanal-Diskriminatoren 128
Vierschichtdiode 34
Vorwahl 138
automatische — 138
— des Dekatrons 73
— der EZ10 86
— der E1T 96
Koinzidenz- 140
Komplementär- 140
des Trochotrons 105, 106, 108
— von Polykathodenröhren 140
Vorwahlschaltungen 138
Zählringe (s. auch Ringzähler) 33
Zählröhren 15, 68, 82, 91, 100
Zählschaltungen
aperiodische — 13
binäre — 14, 49
Definition der — 12
Einteilung der — 12
integrierende — 13, 25
— mit Spezialröhren 15, 68, 82, 91, 100
Reihenschaltung von — 14
selbstschwingende — 12, 16
stabile — 13
Stabilität der — 12
ternäre — 15, 67
Zählwerke 136
Ziffernanzeigeröhren 114
Schaltung von — 116
Zyklische Umschaltung 34

Radio- und Elektronik-Monographien für den Praktiker

Herausgegeben von Ing. Heinz Richter

Wer eine gewisse Zeit in der Praxis steht, weiß, auf welchem Gebiet er Spezialkenntnisse benötigt. Diese werden ihm in den Bänden der neuen Sammlung „Radio und Elektronik – Monographien für den Praktiker" dargeboten. Der Herausgeber der Sammlung, Ing. Heinz Richter, wählt die Themen und berufene Autoren aus, sorgt dafür, daß die Darstellung stets direkt auf die praktische Arbeit zugeschnitten wird.

Die Sammlung setzt technische und theoretische Kenntnisse voraus, wie sie etwa in der „Neuen Schule der Radiotechnik und Elektronik" niedergelegt sind. Von dieser Basis ausgehend, bringt sie nur das Grundsätzliche eines aktuellen oder sich gerade entwickelnden Zweiges. Klar und deutlich führen die Bände aus, wo die neuen Erkenntnisse universell eingesetzt werden können oder an welcher Stelle sie beachtet werden müssen.

Als weitere Bände der Sammlung erscheinen:

Dr. Konstantin Apel, Elektronische Zähler
Ing. Heinrich Brauns, Stereotechnik
Ing. Rolf Hahn, Digitale Steuerungstechnik
Dipl.-Ing. Rudolf Eugen Mayer, Moderne Fernsehempfänger-Schaltungstechnik
Dipl.-Ing. Helmut Rothfuß, Transistor-Meßtechnik
Ing. Heinrich Schröder, Tonband-Meßpraxis
Helmut Schweitzer, UKW- und UHF-Meßpraxis
Dipl.-Ing. Oskar Stürzinger, Hi-Fi-Technik

Die Preise liegen etwa zwischen DM 7.80 und DM 9.80.
Ausführliche Prospekte schickt gerne und kostenlos

FRANCKH'SCHE VERLAGSHANDLUNG · STUTTGART

Dr. Konstantin Apel

Elektronische Zählschaltungen

Die Anwendungsmöglichkeiten der elektronischen Zähler sind noch lange nicht voll ausgenutzt. Wer ihre Arbeitsweise verstanden hat, weiß sie auch an der richtigen Stelle einzubauen.

Dieses Buch behandelt die verschiedenen Zählmethoden und ihre Eigenschaften. Zum Verständnis sind nur die elementaren Kenntnisse der elektronischen Bauteile und Grundschaltungen erforderlich. Auch auf di[illegible] Behandlung der Zählkreise wurde verzi[illegible] die Schaltungen möglichst vollständig a[illegible] weniger bekannte, sehr spezielle Kreise sind berücksich[illegible] und eine große Anzahl dimensionierter Schaltbeisp[illegible] ist aufgenommen.